

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Technická univerzita v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program: strojírenská technologie

Zaměření: obrábění a montáž

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

The influence of cutting fluids from the best manufacturers in the world on tool life and surface roughness during structural steel turning

KOM - 1220

Martin Mlejnek

Vedoucí práce: Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Konzultant: Ing. Andrey Dugin

Počet stran: 78

Počet příloh: 10

Počet obrázků: 32

Počet tabulek: 4

Počet diagramů: 4

22.5.2013



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení : **Martin MLEJNEK**
Studijní program : **B2341 Strojírenství**
Obor : **3911R018 Materiály a technologie**
Zaměření : **Obrábění a montáž**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Shrnutí poznatků o chlazení při obrábění, klasifikace procesních kapalin pro obrábění, vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin, analýza vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje.
2. Shrnutí poznatků o kvalitě povrchu po obrábění. Definice pojmu drsnost povrchu, metody měření drsnosti povrchu.
3. Navržení metodiky zkoumání trvanlivosti nástroje a drsnosti povrchu při soustružení konstrukční oceli v laboratoři KOM FS TUL.
4. Zjištění vlivu jednotlivých procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu v laboratoři KOM FS TUL.
5. Analýza laboratorních výsledků, vyvození závěrů.



Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: cca 30 - 40 stran textu

- grafické práce: obrázky, tabulky a grafy - dle potřeby

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

1. MÁDL, J. *Řezné kapaliny v současné technologii obrábění*. In: *Sborník vědeckých prací*. 1. vyd. Ekologie obrábění, Strojírenská technologie knihovnička, 2000, s. 9 - 18. ISBN 80-7044-232-8.
2. JERSÁK, J., REJZEK, M. *Účinek procesní kapaliny na proces soustružení a vybrané parametry integrity povrchu*. Strojírenská technologie. Rec. prof. Vasilko, prof. Holešovský. roč. 16, duben 2011, č. 2. s. 17 - 23. ISSN 1211-4162.
3. SANDVIK Coromant, Sandviken: *Technická příručka obrábění – soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. 2005. 601 s.
4. HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005. 208 s. ISBN 80- 7044-616-1.

Vedoucí bakalářské práce:

Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Konzultant bakalářské práce:

Ing. Andrey Dugin

Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.
vedoucí katedry



Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

V Liberci, dne 27. 02. 2013

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

ANOTACE:

Práce shrnuje informace o procesních kapalinách – druhy, použití, vlivy na proces obrábění. Dále shrnuje poznatky o opotřebení a trvanlivosti řezných nástrojů a o drsnosti povrchu. V rámci řešení byla navržena metodika měření vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení. V laboratořích katedry obrábění a montáže TUL bylo odzkoušeno šest vodou mísitelných procesních kapalin od různých světových výrobců. Výsledkem této práce bylo určení procesní kapaliny s nejlepším vlivem na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení.

Klíčová slova: soustružení, trvanlivost nástroje, opotřebení nástroje, drsnost povrchu, procesní kapalina.

The influence of cutting fluids from the best manufacturers in the world on tool life and surface roughness during structural steel turning

ANNOTATION:

This thesis summarizes information on cutting fluids - types, uses, influences on the machining process. Also summarizes the findings of the wear and durability of cutting tools and surface roughness. The thesis suggests a method of measuring and the influence of cutting fluids on tool life and surface roughness in turning. In the laboratories of the Department of Machining and Assembly TUL was tested six water-miscible process fluids from different world manufacturers. The result of this thesis is determining the cutting fluid with the best influence on tool life and surface roughness in turning.

Keywords: turning, tool life, tool wear, surface roughness, cutting fluid

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2013

Archivní označ. zprávy:

| | |
|-----------------|----|
| Počet stran: | 78 |
| Počet příloh: | 10 |
| Počet obrázků: | 32 |
| Počet tabulek: | 4 |
| Počet diagramů: | 4 |

MÍSTOPŘÍSEŽNÉ PROHLÁŠENÍ

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 22.5.2013

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Prof. Ing. Alexeyi Popovovi, DrSc za asistenci při provádění laboratorních zkoušek, za poskytnuté informace, cenné rady a připomínky pro vypracování této bakalářské práce. Také děkuji panu Ing. Miroslavu Ledvinovi za asistenci a pomoc při manipulaci s obrobkem. Děkuji i panu Ing. Petru Kellerovi, Ph.D. za sestavení CNC programu pro soustruh CHEVALIER FCL-2140. Dále děkuji také panu Ing. Jiřímu Karáskovi a Ing. Andreyi Duginovi za rady při zpracování naměřených hodnot.

Rád bych také poděkoval své rodině, svým blízkým a všem, kteří mi pomáhali a podporovali mě při řešení bakalářské práce.

| | |
|--|----|
| SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ | 8 |
| ÚVOD | 10 |
| 1 SHRNUTÍ POZNATKŮ O CHLAZENÍ PŘI OBRÁBĚNÍ, KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN PRO OBRÁBĚNÍ, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY PROCESNÍCH KAPALIN, ANALÝZA VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA TRVANLIVOST NÁSTROJE..... | 11 |
| 1.1 Shnutí poznatků o chlazení při obrábění..... | 11 |
| 1.2 Klasifikace procesních kapalin pro obrábění..... | 12 |
| 1.2.1 Vodné roztoky | 13 |
| 1.2.2 Emulzní kapaliny | 13 |
| 1.2.3 Minerální a zušlechtěné oleje | 14 |
| 1.2.4 Rostlinné a živočišné oleje | 15 |
| 1.2.5 Syntetické a polysyntetické kapaliny | 15 |
| 1.3 Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin | 16 |
| 1.3.1 Chladicí účinek | 16 |
| 1.3.2 Mazací účinek | 17 |
| 1.3.3 Čistící účinek | 18 |
| 1.3.4 Ochranný účinek | 18 |
| 1.3.5 Provozní stálost..... | 19 |
| 1.3.6 Zdravotní nezávadnost | 19 |
| 1.3.7 Přiměřené náklady..... | 19 |
| 1.4 Přívod procesních kapalin do místa řezu..... | 20 |
| 1.4.1 Standardní chlazení | 20 |
| 1.4.2 Tlakové chlazení | 20 |
| 1.4.3 Vnitřní chlazení..... | 21 |
| 1.4.4 Podchlazování procesní kapalin..... | 22 |
| 1.4.5 Chlazení mlhou | 22 |
| 1.4.6 Chlazení plynnými látkami..... | 23 |
| 1.5 Stručný přehled o nástrojových řezných materiálech | 23 |
| 1.5.1 Uhlíkové nástrojové oceli | 25 |
| 1.5.2 Legované nástrojové oceli | 26 |
| 1.5.3 Vysokolegované (rychlořezné) nástrojové oceli | 26 |
| 1.5.4 Stellite | 26 |
| 1.5.5 Slinuté karbidy | 26 |
| 1.5.6 Cermety | 28 |

| | | |
|-------|--|----|
| 1.5.7 | Řezná keramika..... | 28 |
| 1.5.8 | Polykrystalický diamant | 28 |
| 1.5.9 | Kubický nitrid bóru | 29 |
| 1.6 | Definice pojmu trvanlivost nástroje..... | 29 |
| 1.6.1 | Příčiny opotřebení břitu nástroje..... | 32 |
| 1.6.2 | Druhy opotřebení břitu nástroje | 34 |
| 1.7 | Analýza vlivu procesní kapaliny na trvanlivost nástroje..... | 38 |
| 1.7.1 | Zkoušky trvanlivosti nástroje..... | 39 |
| 2 | SHRNUTÍ POZNATKŮ O KVALITĚ POVRCHU PO OBRÁBĚNÍ. DEFINICE POJMU DRSNOSTI POVRCHU, METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU | 41 |
| 2.1 | Shrnutí poznatků o kvalitě povrchu po obrábění | 41 |
| 2.1.1 | Geometrie obrobeného povrchu..... | 41 |
| 2.1.2 | Fyzikálně-mechanické vlastnosti povrchu..... | 42 |
| 2.1.3 | Fyzikálně-chemické vlastnosti povrchu | 43 |
| 2.2 | Definice pojmu drsnost povrchu..... | 43 |
| 2.2.1 | Vliv řezných podmínek na drsnost povrchu | 45 |
| 2.3 | Metody měření drsnosti povrchu | 46 |
| 3 | NAVRŽENÍ METODIKY ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE A DRSNOSTI POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ KONSTRUKČNÍ OCELI V LABORATOŘI KOM FS TUL..... | 48 |
| 3.1 | Popis použitých zařízení, přístrojů a nástrojů..... | 48 |
| 3.2 | Charakteristika použitého obráběného materiálu | 53 |
| 3.3 | Charakteristika použitých procesních kapalin | 54 |
| 3.3.1 | Procesní kapalina Blasocut BC 35 Kombi..... | 54 |
| 3.3.2 | Procesní kapalina Hocut 759B..... | 55 |
| 3.3.3 | Procesní kapalina Cimstar 620..... | 55 |
| 3.3.4 | Procesní kapalina Paramo EOPS 1030..... | 56 |
| 3.3.5 | Procesní kapalina Grindex 10 | 56 |
| 3.3.6 | Procesní kapalina Vasco 1000 | 56 |
| 3.4 | Metodika zkoumání trvanlivosti nástroje při soustružení konstrukční oceli na CNC soustruhu Chevalier FLC – 2140..... | 57 |
| 3.4.1 | Příprava měření..... | 57 |
| 3.4.2 | Postup měření trvanlivosti | 60 |
| 3.5 | Metodika zkoumání drsnosti povrchu při soustružení konstrukční oceli na univerzálním soustruhu SU-50 | 62 |
| 3.5.1 | Příprava měření..... | 62 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.5.2 | Postup měření drsnosti obrobené plochy | 63 |
| 4 | ZJIŠTĚNÍ Vlivu JEDNOTLIVÝCH PROCESNÍCH KAPALIN OD NEJLEPŠÍCH SVĚTOVÝCH VÝROBCŮ NA TRVANLIVOST A DRSNOST POVRCHU V LABORATOŘI KOM FS TUL..... | 65 |
| 4.1 | Porovnání jednotlivých procesních kapalin z hlediska vlivu na trvanlivost nástroje při soustružení | 65 |
| 4.2 | Porovnání jednotlivých procesních kapalin z hlediska jejich vlivu na drsnost povrchu při soustružení | 67 |
| 5 | ANALÝZA LABORATORNÍCH VÝSLEDKŮ; VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ..... | 73 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 75 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 78 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

| | |
|------------------------|--|
| KOM [-] | katedra obrábění a montáže |
| TUL [-] | Technická univerzita v Liberci |
| ČSN [-] | česká technická norma |
| TiC [-] | karbid titanu |
| TiN [-] | nitrid titanu |
| SK [-] | slinutý karbid |
| CBN [-] | kubický nitrid bóru |
| pH [-] | záporná hodnota dek. logaritmu koncentrace vodíkových iontů. |
| HSS [-] | rychlořezná ocel (High Speed Steel) |
| PCD [-] | polykrystalický diamant |
| VB [mm] | velikost opotřebení hřbetu nástroje |
| VB _K [mm] | kriteriální (kritická) velikost opotřebení hřbetu nástroje |
| KT [mm] | hloubka výmolu na čele nástroje |
| T [min] | trvanlivost nástroje |
| v [m/min] | řezná rychlost |
| f [mm/ot.] | rychlost posuvu |
| a [mm] | hloubka záběru |
| S-N-O [-] | soustava stroj-nástroj-obrobek |
| Ra [μm] | průměrná aritmetická úchylka profilu povrchu |
| Rz [μm] | největší výška profilu povrchu |
| RS _m [μm] | průměrná šířka prvků profilu povrchu |
| Ir [mm] | základní délka profilu povrchu |
| In [mm] | vyhodnocovaná délka profilu povrchu |
| It [mm] | celková délka profilu povrchu |
| C _{TP50} [μm] | hloubka, ve které je nosný podíl materiálu a vzduchu 1:1 |
| VBD [-] | vyměnitelná břitová destička |
| CNC [-] | počítačem číslicově řízený (Computer Numeric Control) |

| | | |
|--------------------------------|-------|--|
| MQL | [-] | chlazení řeznou mlhou (Minimal Quantity Lubrication) |
| Re | [MPa] | mez napětí v kluzu |
| Rm | [MPa] | mez pevnosti v tahu |
| HRC | [-] | tvrdost podle Rocwella |
| HB | [-] | tvrdost podle Brinella |
| HV | [-] | tvrdost podle Vickerse |
| L | [mm] | obráběná délka obrobku |
| D | [mm] | průměr obrobku |
| Fe | [-] | chemická značka železa |
| Al | [-] | chemická značka hliníku |
| S | [-] | chemická značka síry |
| Cl | [-] | chemická značka chlóru |
| P | [-] | chemická značka fosforu |
| CO ₂ | [-] | chemická značka oxidu uhličitého |
| Ni | [-] | chemická značka niklu |
| Si | [-] | chemická značka křemíku |
| Co | [-] | chemická značka kobaltu |
| Mn | [-] | chemická značka manganu |
| Cr | [-] | chemická značka chromu |
| Mo | [-] | chemická značka molybdenu |
| W | [-] | chemická značka wolframu |
| V | [-] | chemická značka vanadu |
| Cr ₃ C ₂ | [-] | chemická značka karbidu chromu |
| TaC | [-] | chemická značka karbidu tantalu |
| WC | [-] | chemická značka karbidu wolframu |
| Al ₂ O ₃ | [-] | chemická značka oxidu hlinitého |

ÚVOD

Ve strojírenské výrobě zaujímá významné místo obrábění. Na celkové pracnosti výroby se podílí přibližně jednou třetinou. Vedoucí pozici v tomto oboru má obrábění třískové. Proto je důležité, aby tento proces byl hospodárný a efektivní. Zásadním negativním vlivem při třískovém obrábění je tření a vznik tepla. Tyto nepříznivé vlivy lze snížit volbou vhodného řezného prostředí. Z toho důvodu vznikla široká škála procesních kapalin pro různé druhy obrábění od mnoha výrobců. Důležitou vlastností těchto kapalin je mimo jiné jejich vliv na trvanlivost nástroje a jakost obrobeného povrchu. Vhodnou volbou procesní kapaliny tak lze dosáhnout významného snížení výrobních nákladů.

Úkolem této bakalářské práce je navržení metodiky pro měření a analýzu vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje a kvalitu povrchu při soustružení konstrukční oceli a zjištění těchto vlivů u jednotlivých procesních kapalin od renomovaných světových výrobců. Práce také shrnuje poznatky o vzniku a odvodu tepla při obrábění, rozdělení a charakteristiky procesních kapalin. Uvádí teoretické informace o kvalitě povrchu po obrábění, drsnosti a způsobu jejího hodnocení. Dále popisuje pojem trvanlivost nástroje a vznik, příčiny a druhy opotřebení obráběcího nástroje.

Výzkumná část práce byla provedena v laboratořích katedry obrábění a montáže Technické univerzity v Liberci. Pro hodnocení vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje a kvalitu povrchu při soustružení byl použit polotovar z konstrukční oceli ČSN 14 220. Jako řezný nástroj byl použit ubírací stranový soustružnický nůž s vyměnitelnou břitovou destičkou z nepovlakovaného slinutého karbidu TPUN 160304 S26. Bylo odzkoušeno 7 vzorků procesních kapalin od nejlepších světových výrobců.

Výsledkem analýzy bylo určení procesní kapaliny s nejlepším vlivem na trvanlivost řezného nástroje a určení kapaliny s nejlepším vlivem na kvalitu povrchu obrobku. Dále byla vyhodnocena procesní kapalina, která měla nejvýhodnější vliv pro oba hodnocené parametry měření.

1 SHRUTÍ POZNATKŮ O CHLAZENÍ PŘI OBRÁBĚNÍ, KLASIFIKACE PROCESNÍCH KAPALIN PRO OBRÁBĚNÍ, VLASTNOSTI A CHARAKTERISTIKY PROCESNÍCH KAPALIN, ANALÝZA VLIVU PROCESNÍCH KAPALIN NA TRVANLIVOST NÁSTROJE

1.1 Shrnutí poznatků o chlazení při obrábění

Proces obrábění významně ovlivňuje volba řezného prostředí. Řezným prostředím může být okolní vzduch, přiváděný plyn, mlha, ale nejčastěji jím bývá kapalina. Hlavním účelem použití procesních médií při třískovém obrábění materiálů je zvýšení odvodu tepla z místa řezu, snižování třecího odporu a čistící účinek díky odplavování třísek. Díky tomu umožní poměrně značně zvýšit efektivitu výroby. Mezi hlavní přínosy použití procesních kapalin patří zvýšení trvanlivosti nástrojů, nárůst řezných parametrů, zlepšení jakosti obráběného povrchu a umožnění podstatného zrychlení obrábění, čímž se sníží strojní časy.

Účinek procesních kapalin je chladicí a mazací. Nezanedbatelný vliv má také čistící schopnost proudícího media, které odplavuje třísky z místa řezu a v některých případech také napomáhá jejich lepšímu utváření. To se může mimo jiné i pozitivně projevit na jakosti povrchu, jelikož vznikající třísky mohou mechanicky poškozovat obrobenou plochu.

Chladicí účinek procesních kapalin hraje důležitou roli, protože téměř veškerá mechanická práce vynaložená na přeměnu odřezávané vrstvy v třísku a odvedení třísky z místa řezu se přeměňuje v teplo. Teplota řezání je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících obrábění a má vliv na všechny parametry řezání. Celkové teplo vznikající při obrábění je v největší míře odváděno třískou a z menší části obrobkem a řezným nástrojem. Poměr mezi jednotlivými velikostmi tepla hodnotí tzv. energetická bilance. Závisí na druhu obrábění, řezných podmínkách, druhu obráběného materiálu a geometrii nástroje. Zvyšující se parametry řezných podmínek logicky zvyšují množství vzniklého tepla. Zároveň platí závislost, že čím vyšší je řezná rychlost, tím je vyšší podíl tepla odvedený třískou. Chladicí vliv přiváděného procesního media se projeví odvodem části tepla vzniklého při oddělování třísky. Tím se dosáhne snížení teploty řezání. Odvod tepelné energie obvykle neprobíhá přímo ze stykových míst nástroje s obrobkem, ale je ochlazován nástroj, obrobek a utvářená tříska v bezprostřední blízkosti místa řezu.

Velikost ochlazovacího účinku závisí především na průtokovém množství média přiváděného k řezu, rychlosti a místu přívodu proudu, tepelném gradientu, smáčivosti, měrné tepelné kapacitě, velikosti výparného tepla a součiniteli tepelné vodivosti chladicího média i obráběného materiálu. V tomto směru mají nejlepší ochlazovací schopnost voda a vodné roztoky. Je to dáno jednak tím, že voda má vysokou hodnotu výparného tepla a nejvyšší hodnotu měrné tepelné kapacity ze všech látek. Hodnota výparného tepla udává množství tepelné energie, které přijme jeden kilogram kapaliny, který se za teploty varu přemění na plyn o stejné teplotě. Měrná tepelná kapacita zase značí množství tepla potřebné ke zvýšení teploty o jeden stupeň Celsia, respektive jeden Kelvin u jednoho kilogramu látky.

Samotné množství vzniklého tepla při řezání klesá snížením velikosti tření mezi nástrojem a obrobkem, které závisí na mazací schopnosti prostředí. Projevem mazacích účinků je snížení třecí práce a tím i řezného odporu a také snížením drsnosti obrobené plochy.

V závislosti na řezných podmínkách obrábění je upřednostňován buď větší důraz na mazací či na chladicí účinek procesní kapaliny. Při obrábění, kde vzniká velké množství tepla, jsou obecně upřednostňovány kapaliny s vysokým chladicím účinkem. To je například při soustružení a frézování vyššími rychlostmi, vrtání hlubokých otvorů a broušení. Mazací účinek je naopak upřednostňován při obrábění malými řeznými rychlostmi tam, kde dochází k velkým měrným tlakům mezi nástrojem a obrobkem a tam, kde je vysoký požadavek na jakost povrchu. Typickým použitím procesních kapalin s převažujícím mazacím účinkem je například výroba závitů. [12][7]

1.2 Klasifikace procesních kapalin pro obrábění

Procesní kapaliny lze obecně členit na kapaliny s převažujícím chladicím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. Stále více se však projevuje snaha zvyšovat mazací schopnost i u kapalin s chladicím charakterem. Tím se stírá rozdíl mezi oběma skupinami.

Další možné rozdělení je podle schopnosti procesních kapalin mísit se s vodou. Typickým příkladem kapalin nemísitelných s vodou jsou oleje.

Nejvýstižnější je rozčlenění podle chemického složení, které procesní kapaliny dělí do těchto skupin:

- Vodné roztoky
- Emulzní kapaliny
- Minerální oleje
- Zušlechtěné oleje
- Oleje rostlinného a organického původu
- Syntetické a polysyntetické kapaliny

1.2.1 Vodné roztoky

Vodné roztoky jsou nejjednodušší procesní kapaliny. Mají výborné chladicí a čistící účinky, ale téměř žádný mazací účinek. Jejich základ tvoří voda, která však vyžaduje úpravy jako je změkčování, přidání přísad proti korozi, pěnivosti a pro zlepšení smáčivosti. Výsledný roztok musí být vždy alkalický. Obvykle jsou to 1 až 2% roztoky uhličitanu sodného, trietanolaminu, křemičitanu sodného nebo draselného, dusitanu sodného a pod.

Vyšší účinek mají roztoky povrchově aktivních látek, jako například draselných a sodných mýdel, mastné a sulfonaftenové kyseliny a pod. Díky dobré smáčivosti a malému povrchovému napětí mají velkou ochlazovací schopnost a vytvářejí i adhezni film s určitou mazací schopností.

Vodné roztoky se používají především při broušení. Nevýhodou těchto kapalin je degradace způsobená množением anaerobních bakterií, které způsobují zakalení a nepříjemný zápach. [12][3]

1.2.2 Emulzní kapaliny

Emulzní kapaliny jsou v praxi nejrozšířenější procesní kapalinou. Tvoří je disperzní soustava jemných kapek oleje, rozptýlených ve vodě. Velikost kapek oleje se pohybuje v rozmezí asi 0,2 až 8 μm . Stabilita této směsi jinak nemísitelných kapalin je zaručena přítomností emulgátorů, které zabráňují slučování kapiček oleje, tím že na jejich povrchu vytvoří mikroskopický povlak. Jako emulgátory se používají některá mýdla. Dalšími přísadami kapalin mísitelných s vodou jsou inhibitory koroze, biocidy, odpěňovače a případně další přísady.

Tyto kapaliny se běžně distribuují ve formě emulgačního oleje, který se mísí s vodou v požadované koncentraci až na místě spotřeby. Poměrem emulzní kapaliny s vodou můžeme zvýšit mazací nebo chladicí schopnost emulze. Při vyšší koncentraci oleje mazací účinek stoupá, ale klesá účinek chladicí. Koncentrace se měří refraktometrem.

Vzhledem ke korozním účinkům je nutné sledovat také pH emulze. To by se v případě obrábění slitin železa mělo pohybovat v rozmezí alespoň pH = 8 až 9. [12][3][9]

1.2.3 Minerální a zušlechtěné oleje

Minerální oleje se vyrábějí v rafineriích z ropy. Vyznačují se dobrými mazacími účinky, odolností proti stárnutí a konzervačními účinky. Mají však poměrně malou chladicí schopnost.

V současnosti se převážně používají zušlechtěné oleje, též někdy nazývané jako řezné oleje. Vlivem aditiv v nich obsažených se ještě zlepšuje ve velkém rozsahu jejich mazací schopnost a tlaková únosnost. Jako aditiva se používají mastné látky, organické sloučeniny a pevná maziva. Použité přísady nesmí být zdravotně závadné a působit korozivně.

Přísadovými mastnými látkami jsou zmýdelnitelné oleje, mastné kapaliny nebo syntetické estery, které zlepšují smáčivost a také mazací schopnost. Jejich mazací účinek ovšem klesá za vysokých tlaků.

Aditiva z organických látek obsahují sloučeniny prvků, jejichž působením na povrchu obrobku vznikají vrstvičky kovových mýdel zlepšující kluzné vlastnosti i za působení vysokých tlaků. Sloučeniny s chlorem snižují tření, avšak tato schopnost rychle klesá nad teplotami 400°C. Pro vyšší účinnost se proto přidávají sloučeniny fosforu. Nejlepší vlastností pak dosahují aditiva kombinující organické sloučeniny síry, chloru a fosforu.

Pevná maziva používaná jako příměsi do řezných olejů, působí při řezání svým mechanickým účinkem tak, že vytvářejí kluznou vrstvou odolnou vůči vysokým tlakům. Těmito přísadami jsou rozptýlené částice grafitu a siřníku

molybdenu. Protože jsou tyto přísady nerozpustné v kapalinách, mají tendenci k sedimentaci. Proto se musí udržovat v rozptýleném stavu prouděním média.

Nevýhodou těchto olejů kromě horší chladicí schopnosti je neekologičnost, protože mají ropný původ. Dalším negativem je hořlavost. Díky větší viskozitě než například emulze ulpívají ve větším množství nejen na obrobkách, ale i na třískách, což sebou přináší poměrně značné ztráty. Některé firmy proto provádějí odstředování oleje z třísek. Většinu obrobků je z tohoto důvodu nutno i odmašťovat, což je vlastně další pracovní operace a náklady na odmašťovadla. Další problémem je zhoršení pracovních podmínek na pracovištích z důvodu ulpívání oleje na veškerém použitém vybavení a také vznik olejového aerosolu v ovzduší při rozstřiku. Z toho důvodu je v některých případech nutno použít odsávání. [12][3][9]

1.2.4 Rostlinné a živočišné oleje

V menší míře než oleje ropného původu se v praxi používají rostlinné oleje a okrajově také živočišné tuky. Mají podobné vlastnosti jako minerální oleje, vykazují však nižší velikost povrchového napětí, díky čemuž mají lepší smáčivost a potažmo i lepší chladicí účinek. Nejvýznamnějšími zástupci této skupiny procesních kapalin je řepkový, lněný a ricinový olej.

Výhodou těchto médií je jejich ekologičnost a naprostá zdravotní nezávadnost, což je hledisko, které čím dál více nabývá na významu. Většímu využití v praxi však brání jejich nevýhody, kterou je hlavně poměrně malá tepelná odolnost a značný sklon ke stárnutí. Projev degradace se u nich projevuje zvyšováním kyselosti a tvorbou pryskyřičných látek. Související neblahou vlastností rostlinných olejů je tvorba tvrdého filmu na povrchu vybavení a obrobků znečištěných těmito oleji a ponechaných volně na vzduchu. Tento jev se nazývá vysychání olejů. [12][3][9]

1.2.5 Syntetické a polysyntetické kapaliny

Syntetické procesní kapaliny jsou tvořeny glykoly, což jsou polární rozpouštědla. Glykoly, jiným názvem také dioly, se vyznačují velkou provozní stálostí. Jsou průsvitné, což umožní sledování průběhu řezu nástroje.

Procesní kapaliny tohoto typu jsou obvykle rozpustné ve vodě. Ve vodě tvoří emulzi nebo se rozpouští. Oproti procesním kapalinám na bázi oleje mají syntetické kapaliny větší schopnost odvodu tepla, dobrý čistící účinek, jednoduchou přípravu a větší ekonomičnost. Spojují v sobě nejlepší vlastnosti z oblasti procesních kapalin, a to vysokou úroveň mazacích schopností známých z oblasti řezných olejů a chladicí vlastnosti vody. Vysoký chladicí účinek umožňuje zvýšit řeznou rychlost operací. Případný problém se zvýšeným vyplavováním oleje z kluzných vedení obráběcího stroje lze řešit použitím kompatibilního mazacího oleje.

Polosyntetické kapaliny vycházejí z kapalin syntetických, ale navíc obsahují ještě olej rozptýlený ve formě emulze. Rozptýlené olejové částice jsou mnohem menší než v běžných vodných emulzích. Vzniklé kapaliny pak vykazují ještě lepší mazací schopnost než syntetické. [13][9]

1.3 Vlastnosti a charakteristiky procesních kapalin

Na procesní kapaliny je kladeno mnoho požadavků. V první řadě je to požadavek na chladicí, mazací a čistící schopnost. Dále je sledována ochranná schopnost kapaliny, její trvanlivost, vliv na zdraví a životní prostředí. Kapalina také nesmí narušovat nátěry, těsnění a ostatní součásti obráběcího stroje. Dalším sledovaným faktorem jsou také provozní náklady spojené s jejím používáním.

V závislosti na kriteriích uživatele jsou upřednostňovány jednotlivé vlastnosti pro volbu vhodné procesní kapaliny pro konkrétní aplikaci.

1.3.1 Chladicí účinek

Chladicí účinek procesního media udává schopnost odvodu tepelné energie z místa řezu. Odvod tepla vzniklého při řezání vzniká přestupem tepla z nástroje, obrobku a třísky do kapaliny, která ho obklopuje. Předpokladem pro to je tepelný spád mezi povrchem a kapalinou.

Obecně je kladen požadavek na chladicí schopnost hlavně u obrábění vysokými řeznými rychlostmi, což je například broušení.

Velikost chladicího účinku je závislá na vzájemné smáčecí schopnosti, na jejich tepelné vodivosti, měrné tepelné kapacitě a výparném teple procesní kapaliny.

Čím vyšší budou tyto parametry, tím bude lepší i chladicí účinek. Dalším podstatným faktorem je průtočné množství, rychlost a směr přívodu procesního media a teplotní podmínky. To je dáno konkrétní situací při obrábění.

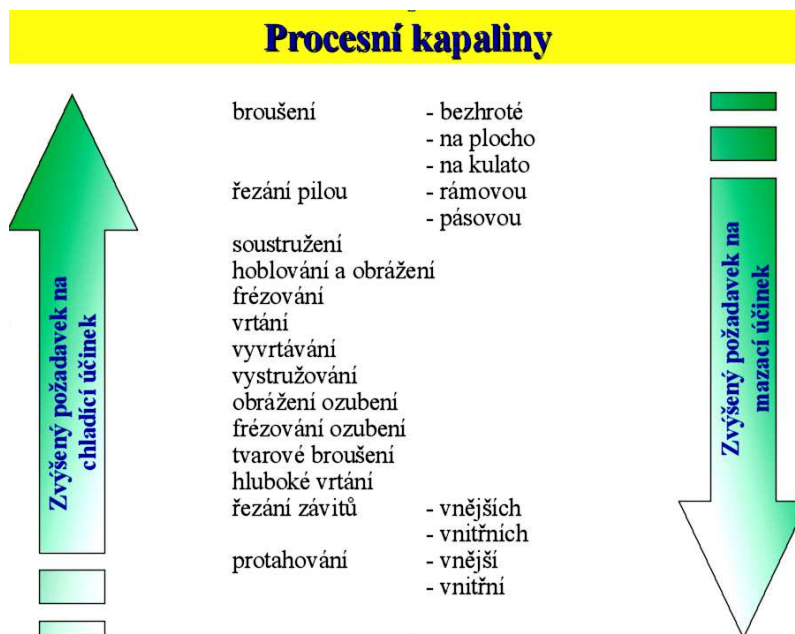
Nežádoucím jevem je nadměrné odpařování procesní kapaliny. Z důvodu čistoty a zdraví je pak nutné tyto vznikající páry odsávat.

Nejvyšší chladicí schopnosti vykazují procesní kapaliny, jejichž základem je voda. Typickými představiteli jsou vodné roztoky a emulzní kapaliny. [3][9]

1.3.2 Mazací účinek

Mazací účinek je schopnost procesní kapaliny snížit tření mezi nástrojem, obrobkem a ubíraným materiálem. Předpokladem pro to je vznik tenké vrstvy maziva mezi kovovými povrchy. Vzhledem k vysokým teplotám a měrným tlakům vznikajících při řezání, nemůže sice dojít k dokonalému kapalnému tření, jedná se spíše o tření mezní. Tento mazací film při pohybu sníží třecí energii, čímž zmenší řezné síly, sníží spotřebu energie, zvýší trvanlivost nástroje a zlepší jakost obrobeného povrchu. Únosnost mazacího filmu je závislá na viskozitě procesní kapaliny a použitých přísadách. Při vyšší viskozitě je únosnost filmu vyšší, avšak mazací kapalina hůře proniká do místa řezu.

Mazací účinek je upřednostňován při obrábění nižšími řeznými rychlostmi, jako je například řezání závitů, protahování, vystružování nebo výroba ozubení. Nejběžnějším představitelem procesních kapalin s převažujícím mazacím účinkem jsou zušlechtěné minerální a rostlinné oleje. [3][9]



Obr. 1 - Volba procesních kapalin pro různé druhy obrábění podle mazací a chladicí schopnosti [28]

1.3.3 Čistící účinek

Dostatečný průtok procesní kapaliny významně pomáhá odstraňovat třísky vzniklé při obrábění z místa řezu i ostatních pracovních ploch. Odstraněné třísky jsou odnášeny spolu s kapalinou do sběrných van, kde se zadržují pomocí sít nebo se cestou zachytávají na dopravnících třískách. Dokonalé oddělení zbytkových třísek a ostatních nečistot rozptýlených v procesních kapalinách probíhá hlavně sedimentací v nádrži na procesní kapalinu. Je důležité, aby procesní kapalina před návratem do oběhu byla řádně pročištěna. Proto sací koše čerpadel nenasávají kapalinu až u dna, aby nenasávala usazený kal. V opačném případě by mohl průnik nečistot mimo jiné způsobit zhoršení jakosti povrchu a negativně ovlivnit životnost čerpadla na procesní kapalinu, jakož i životnost nástroje. [3][9]

1.3.4 Ochranný účinek

Během obrábění i mimo něj je nutné ochraňovat obrobky, stroj i ostatní vybavení proti korozi. Také proto, aby nebylo nutné výrobky konzervovat, je kladen důraz na ochranný účinek procesních kapalin. U některých kapalin je ochranný účinek přirozenou vlastností (např. oleje) nebo se docílí aditivy, které pasivují kovy proti nežádoucím účinkům.

Důležitým požadavkem na ochranu je také to, aby procesní kapaliny nebyly agresivní vůči nátěrům, tmelům, pryžovým či silikonovým těsněním a dalším prvkům stroje, měřidel a podobně. [3][9]

1.3.5 Provozní stálost

Provozní stálost procesní kapaliny je dána dobou jejího užívání do výměny. Dlouhodobé užívání je podmíněno požadovanými vlastnostmi kapalin, které se po dobu užívání nemají měnit. Na trvanlivost má vliv doba používání, tepelné zatížení kapalin a znečištění. Stárnutí procesní kapaliny snižuje její funkční vlastnosti, čímž klesá trvanlivost nástroje, kvalita obrobeného povrchu a podobně. Některé druhy procesních kapalin podléhají také bakteriálnímu rozkladu, který se mimo změny provozních vlastností můžou projevit v krajním případě i nepříjemným zápachem. Vedle těchto vlastností by procesní kapaliny neměly za provozu příliš měnit viskozitu a při rozstřiku by nemělo docházet k jejich napěnění. [3][9]

1.3.6 Zdravotní nezávadnost

Při práci na obráběcích strojích přichází obsluha s procesními kapalinami do kontaktu, proto je zdravotní nezávadnost velmi sledovaná. Kapalina by neměla být zdraví škodlivá, obsahovat jedovaté látky a látky dráždící pokožku a sliznice. Neměla by ani zamořovat ovzduší škodlivými výpary, popřípadě nepříjemným zápachem. Zdravotní nezávadnost procesních kapalin ovlivňuje také jejich provozní stálost a čistota.

Důležitým hlediskem je také náročnost a spojená s ekologickou likvidací použitých procesních kapalin a její dopad na životní prostředí.

1.3.7 Přiměřené náklady

Náklady spojené s užíváním procesní kapaliny jsou úzce svázány s jejich spotřebou a cenou. Při rozboru těchto nákladů je v první řadě nutno porovnávat vliv na samotný proces obrábění. Dále je potřeba sledovat spotřebu procesní kapaliny, provozní stálost a náklady spojené s její likvidací.

Nezanedbatelný vliv na náklady mají ale také další procesy spojené s použitím konkrétního druhu kapaliny. Těmi jsou například náklady na odmašťování obrobků,

úklid, čisticí prostředky, provoz odsávání výparů nebo odstraňování procesních kapalin ulpívajících na třískách pomocí odstředování. [3][9]

1.4 Přívod procesních kapalin do místa řezu

Vedle charakteristik procesních kapalin, ovlivňuje řezný proces do velké míry právě způsob přívodu media k místu řezu. Tím je mimo jiné ovlivněna trvanlivost nástroje, jakost obrobené plochy, čisticí schopnost a efektivita obrábění.

1.4.1 Standardní chlazení

Jedná se o nejběžnější způsob přívodu procesní kapaliny. Kapalina je k místu řezu přiváděna ze sběrné nádrže rozvodovým potrubím pomocí čerpadla. Touto soustavou je standardně vybavena většina běžných obráběcích strojů. Množství přiváděného média je dáno výkonem čerpadla a dále je regulováno škrtícími ventily, které nastavuje obsluha stroje. Směr přívodu kapalin se nejčastěji nastavuje pomocí flexibilních kloubových hadic a trysek různých tvarů. [3][9]



Obr. 2 - Standardní způsob chlazení procesní kapalinou při frézování [29]

1.4.2 Tlakové chlazení

Při tlakovém chlazení je procesní kapalina přiváděna do místa řezu pod vysokým tlakem. Proud kapaliny je fokusován na čelo nebo hřbet nástroje. Průměr výstupní trysky bývá jen 0,3 až 1mm a tlak se pohybuje okolo 0,3 až 3 MPa. Množství přiváděné kapaliny bývá v rozmezí 0,5 až 2 litry za minutu. Je nutné, aby

procesní kapalina neobsahovala nečistoty. Jednak by mohlo dojít k ucpání trysek a také k abrazivním účinkům na povrchu nástroje a obrobku.

Výhodou použití je hlavně prodloužení trvanlivosti nástrojů, zvýšení řezné rychlosti a kontrola utváření a odvod třísek

Neblahým jevem při využití vysokotlakého chlazení je velký rozstřík kapaliny a tvorba mlhy. Proto je nutné, aby pracovní prostor stroje byl uzavřen, aby nedocházelo k znečišťování okolního pracovního prostředí. [17][14][9]

1.4.3 Vnitřní chlazení

Vnitřní chlazení je vůbec nejúčinnější způsob chlazení nástroje, protože kapalina je vedena přímo tělem nástroje a tím je zaručeno její dokonalé nasměrování až k břitu nástroje za všech podmínek. Toto si můžeme nejlépe představit například u vrtání hlubokých děr. Nejen že je procesní kapalina dokonale přiváděna až k břitu nástroje, ale rovněž dobře odplavuje vzniklé třísky. To umožňuje značně zvětšit řezné rychlosti. Dále se vnitřní chlazení velmi uplatňuje u soustružení a to hlavně vnitřního.

Nevýhodou je nutnost pořízení speciálních nástrojů nebo nožových držáků, které mají však z důvodu složité výroby vysoké pořizovací ceny. Zároveň musí být i obráběcí stroj vybaven zařízením umožňujícím vnitřní chlazení, čímž například starší stroje nebyly vůbec vybaveny. To platí hlavně u rotačních nástrojů, kde musí být kapalina přiváděna do rotujícího vřetena. Důležitým předpokladem je také dokonalé čištění kapaliny. [3][9]



Obr. 3 - Procesní kapalina vedená tělem nástroje [18]

1.4.4 Podchlazování procesní kapalin

Ke zvýšení ochlazovacího účinku je možno použít také podchlazenou procesní kapalinu na teplotu nižší než má okolní prostředí. Běžné procesní kapaliny jsou podchlazovány na teplotu 5 až 7°C, oleje na 15 až 20°C. Při nižších teplotách by už mohlo docházet ke zhoršení fyzikálních vlastností kapalin (houstnutí řezných olejů). Proto je potřeba při podchlazování zohlednit výběr procesních kapalin.

Některé obráběcí stroje jsou také vybaveny zařízením, které naopak umožní předejít procesnímu media na začátku směny tak, aby bylo rychle dosaženo provozní teploty obrábění. To eliminuje odchylky způsobené teplotní roztažností materiálu stroje, nástroje a obrobku. [3][9]

1.4.5 Chlazení mlhou

V případě použití chlazení a mazání mlhou je řezným prostředím procesní kapalina ve formě aerosolu, rozptýlená tlakem vzduchu proudícího tryskou vysokou rychlostí (až 300 m/s). Obdobou chlazení mlhou je systém MQL (Minimum Quantity Liquid), zaměřený na minimalizaci aplikované řezné kapaliny ve formě jemně rozptýlené směsi orientované přímo do místa řezu. Odvod tepla zajišťuje rozpínající

se vzduch obsahující částčky procesní kapaliny. Výhodou je hlavně malá spotřeba procesní kapaliny.

Tato metoda je vhodná zvláště pro citlivé nástrojové materiály, jako je řezná keramika a pro výrobu tenkých součástí. [3][31]

1.4.6 Chlazení plynnými látkami

Plynné látky se jako procesní média běžně nepoužívají, protože mají nízký chladicí a čistící účinek a nulový mazací účinek. Pozitivním hlediskem je, že díky plynnému skupenství neznečišťují obrobek, třísky, nástroje ani další předměty svými zbytky, jako je tomu u kapalných medií.

Jedním z používaných způsobů je chlazení stlačeným vzduchem přiváděným k místu řezu. Jedná se o poměrně jednoduchou a levnou metodu.

Další metodou je chlazení stlačeným oxidem uhličitým. Je doporučována například pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Plyn se k místu řezu přivádí pod tlakem 0,5 až 7 MPa v tenkém paprsku. Nevýhodou použití CO₂ jsou vysoké pořizovací a provozní náklady, zvýšené nebezpečí na pracovišti, či nutnost dokonalého odsávání a větrání pracoviště.

Mezi obrábění s chlazením plynnými medii se dá částečně zařadit také tzv. suché obrábění. Jde o běžnou metodu, kdy řezným prostředím je vlastně okolní atmosférický vzduch. Snaha o rozšíření této metody souvisí s vývojem nových řezných materiálů, které umožní efektivní obrábění bez nutnosti chlazení a mazání, čímž odpadají komplikace a náklady spojené s používáním procesních kapalin. [3]

1.5 Stručný přehled o nástrojových řezných materiálech

Materiály břitu řezných nástrojů rozhodujícím způsobem ovlivňují produktivitu, kvalitu a hospodárnost výroby. Při činnosti jsou vystaveny intenzivnímu mechanickému a tepelnému namáhání, které vede k postupnému otupování, případně až destrukci břitu. Proto jsou na ně kladeny náročné a často i protichůdné požadavky. Zcela nejzákladnějším předpokladem pro jejich funkci je vyšší tvrdost než má obráběný materiál, aby mohl řezný klín vniknout do obráběného materiálu a řezat třísku.

Obecné požadavky na nástrojové řezné materiály jsou:

- Tvrdost
- Pevnost v tlaku a ohybu
- Houževnatost
- Odolnost proti zvýšené teplotě a teplotním rázům
- Dobrá tepelná vodivost
- Chemická stálost
- Odolnost proti otěru

Souhrnně lze tyto vlastnosti nazvat řezivostí. Ta vyjadřuje schopnost materiálu břitů obrábět obrobek za daných technologických podmínek. Je dána řadou činitelů, jako chemickým složením, způsobem výroby, tepelným zpracováním apod.

Pro porovnání řezivosti dvou nástrojů lze v praxi užít tzv. index řezivosti i_r . Ten je dán vztahem:

$$i_r = \frac{v_T}{v_{Te}}, \quad (5)$$

kde i_r ... index řezivosti [-]

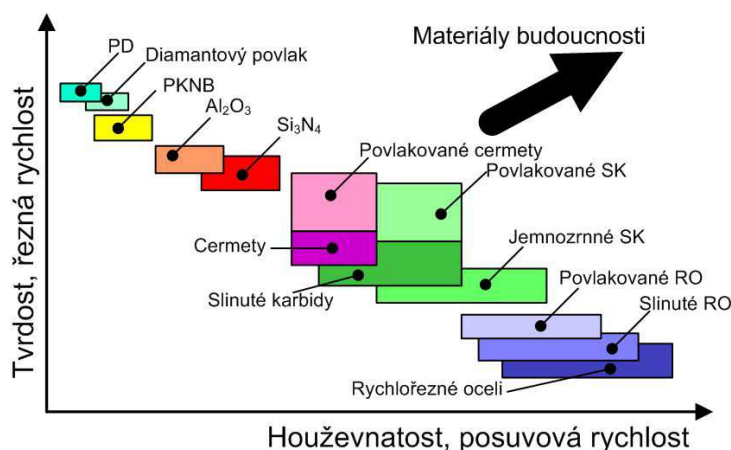
v_{Te} ... řezná rychlost při zvolené trvanlivosti T (např. 10 minut) při obrábění etalonovým nástrojem [m/min],

v_T ... řezná rychlost při stejné trvanlivosti, dosažené při obrábění zkoušeným nástrojem za jinak stejných řezných podmínek. [m/min].

V současné době existuje na trhu mnoho druhů řezných materiálů, z nichž řada vznikla teprve relativně nedávno. Tento vývoj umožnil rozvoj technologií třískového obrábění, otevřel cestu pro nové metody a výrazně posunul jakost a produktivitu výroby. Vzhledem k velkému výběru těchto materiálů je však nutné stále důkladněji vybírat ten nejvhodnější řezný materiál pro konkrétní využití.[3][11]

Nástrojové materiály se podle chemického složení dělí na:

- Nástrojové oceli uhlíkové
- Nástrojové oceli legované (slitinové)
- Nástrojové oceli vysokolegované (rychlořezné)
- Stelity
- Slinuté karbidy
- Cermety
- Mineralokeramické řezné materiály (řezná keramika)
- Polykrystalický diamant (PCD)
- Kubický nitrid bóru (CBN)



Obr. 4 - Oblast použití jednotlivých druhů nástrojových materiálů [11]

1.5.1 Uhlíkové nástrojové oceli

Uhlíkovou nástrojovou ocel lze řadit mezi ušlechtilé oceli. Je to nejstarší běžně užívaný nástrojový materiál. Jeho tvrdost je dána přítomností uhlíku v rozsahu 0,5 až 1,5%, který tvoří v zakaleném stavu tvrdé karbidy. Se vzrůstajícím obsahem uhlíku roste tvrdost a řezivost, do jisté míry klesá houževnatost. Lze je použít do teplot přibližně 200°. Řezné rychlosti se obvykle pohybují do 0,2 m/s. Nacházejí uplatnění především u ručního nářadí (pilníky, sekáče kladiva apod.). [3][11]

1.5.2 Legované nástrojové oceli

Legury, jako jsou Mn, Cr, Mo, W, V tvoří u těchto ocelí tvrdé karbidy stále až do vysokých teplot nebo jinak zlepšují jejich mechanické a tepelné vlastnosti. Další přísadové prvky, jako Ni, Si, Co, jsou nekarbidotvorné. Díky legurám mají také lepší prokalitelnost, avšak jsou náročnější na tepelné zpracování. Tyto oceli lze použít do teplot 300 až 400°C a řezných rychlostí 0,3 m/s. Vyrábí se z nich nástroje pro méně náročné aplikace, jako jsou například pilové listy, výhrubníky, výstružníky, závitníky a protahováky. [3][11]

1.5.3 Vysokolegované (rychlořezné) nástrojové oceli

Vysokolegované nástrojové oceli jsou označovány také jako rychlořezné oceli nebo zkráceně HSS (z anglického názvu High Speed Steel). Mají vysoký obsah přísadových karbidotvorných prvků, mezi něž patří zejména wolfram, chrom, vanad, molybden a dále nekarbidotvorný kobalt. V porovnání s nelegovanými a legovanými nástrojovými oceli mají v zakaleném a popuštěném stavu výrazně vyšší tvrdost, řezivost, odolnost proti otěru a hlavně odolnost proti popuštění. Vysokou tvrdost si zachovávají až do teplot 600°C. Uplatňují se do řezných rychlostí 1,5 m/s.

Používají se pro výrobu soustružnických nožů, fréz, vrtáků, závitníků a podobně. Jelikož odolávají rázům, mohou se požívat při obrábění s přerušovaným řezem. Pro zlepšení vlastností se někdy ještě povlakuje TiC nebo TiN.

V poslední době nachází velké uplatnění rychlořezná ocel vyrobená práškovou metalurgií. Oproti běžné rychlořezné oceli má řadu výhod, mezi něž patří vyšší houževnatost, rozměrová stálost a lepší řezné vlastnosti. [3][11]

1.5.4 Stelity

Stelity jsou neželezné slitiny na bázi kobaltu, chromu, uhlíku a wolframu. Jejich použitelnost je do 700°C. Obvykle se používají jako návarový materiál nástrojů. [11]

1.5.5 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy, zkráceně SK, jsou nástrojové materiály vyráběné práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů. V současnosti jsou nejrozšířenějším nástrojovým materiálem. Jsou tvořeny z částic karbidů wolframu, titanu, tantalu, chromu či niobu,

které jsou pomocí slinování svázány nízkotavitelným kovovým pojivem, nejčastěji kobaltem. Po slinutí už se dále tepelně nezpracovávají.

Teplotní použitelnost SK je zhruba do 700°C a řezné rychlosti se pohybují od 0,5 do 6 m/s. Podle normy ČSN ISO 513 a podle použití jsou SK rozděleny na 3 základní skupiny:

- Skupina K - červená barva označení
 - základní složení: WC + Co
 - pro obrábění materiálů s krátkou třískou (litina, Cu, Al, sklo)
- Skupina P - modrá barva označení
 - základní složení: WC + TiC + Co
 - pro obrábění materiálů s plynulou třískou (ocel, ocel na odlitky)
- Skupina M - žlutá barva označení
 - základní složení: WC + TiC + TaC + Cr₃C₂ + Co
 - pro univerzální použití (ocel, ocel na odlitky, korozivzdorná ocel)

Vzhledem k požadavkům na velkou tvrdost a otěruvzdornost povrchu a zároveň houževnatost jádra, se dnes SK hojně povlakuje. Tyto tvrdé povlaky, silné několik μm, jsou nejčastěji tvořeny TiC, TiN, nebo Al₂O₃. Často jsou povlaky vícevrstvé.

Slinuté karbidy se vyrábějí nejčastěji ve formě břitových destiček normalizovaných tvarů. Tyto destičky se buď pájí nebo častěji mechanicky upínají na řeznou část tělesa nástroje. Pouze nástroje malých rozměrů (např. vrtáky, frézy) mohou být celistvé. Vyměnitelné břitové destičky (VBD) mají několik ostří, které se používají postupně. Po otupení všech ostří se destička neostří, ale vyřazuje a mění za novou. Výhody použití nástrojů s VBD spočívají mimo jiné v tom, že je menší nárok na seřízení nástroje při jeho výměně a že destrukce břitu (např. ulomený zub frézy) nepůsobí znehodnocení celého drahého nástroje. [3][11][7]

1.5.6 Cermety

Cermety jsou nástrojové materiály podobné slinutým karbidům, avšak vyrobené bez přítomnosti karbidu wolframu. Byly vyvíjeny jako analogie k SK v USA. Jejich název je odvozen spojením slov ceramic a metal, což vyjadřuje spojení keramických částic v kovovém pojivu. Tvrdými částicemi jsou TiC, TiN, TiCN v pojivu Ni, Mo nebo Co.

Cermety snášejí teploty až do 1500°C a používají se do řezných rychlostí 8m/s. Jejich nevýhodou je menší houževnatost a odolnost proti teplotním šokům než u SK, proto se používají hlavně pro dokončovací operace. Používají se ve formě vyměnitelných břitových destiček. [3][11][7]

1.5.7 Řezná keramika

Mineralokeramické materiály jsou nekovové řezné materiály vyráběné vysokoteplotním izostatickým lisováním. Vyznačují se vysokou trvanlivostí a odolností proti vysokým teplotám. Podle chemického složení se rozdělují na:

- Oxidové keramiky – čisté obsahují 99,5% Al_2O_3
- Polosměsné keramiky – směsy Al_2O_3 + (10 – 20%) ZrO_2
- Směsné keramiky - směsy Al_2O_3 + kovy nebo karbidy kovů TiC, TiN
- Neoxidové keramiky – na bázi Si_3N_4 + Al_2O_3 nebo jiné oxidy, nitridy apod.

Řezná keramika se používá do teplot 1200 až 1800°C a rychlostí 0,5 až 15 m/s. Nevýhodou těchto materiálů je křehkost a malá tepelná vodivost. Nehodí se pro obrábění s chvěním a přerušovaným řezem. Vyrábí se ve formě vyměnitelných břitových destiček.[11][7]

1.5.8 Polykrystalický diamant

Polykrystalický diamant (PKD) je syntetický materiál vyrobený spékáním diamantového prachu. Dosahuje tvrdosti blízké přírodnímu diamantu (až 10000 HV). Lze jej použít do teplot 600°C. Nevýhodou je, že se při zvýšených teplotách slučuje s Fe a Co, nesnáší také rázy a chvění. Vyrábí se často ve formě tzv. kompakťů, které tvoří řeznou část vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů. [11][3][7]

1.5.9 Kubický nitrid bóru

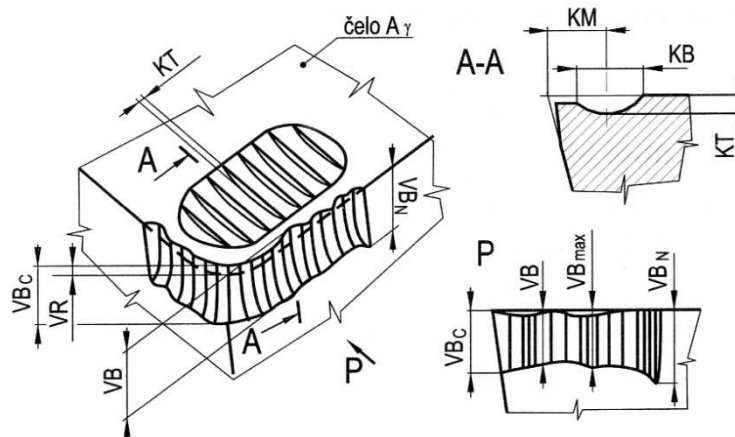
Kubický nitrid bóru (CBN) je synteticky vyrobený materiál dosahující tvrdosti blízké diamantu (až 8000 HV). Polykrystalický CBN je vyroben spékáním z prášku. Lze ho použít až do teplot 1500°C. Oproti diamantu snáší rázy a neslučuje se s Fe. Je proto vhodný pro obrábění velmi tvrdých a pevných ocelí. Používá se podobně jako polykrystalický diamant ve formě kompakťů tvořících řeznou část VBD ze slinutých karbidů. [11][3][7]

1.6 Definice pojmu trvanlivost nástroje

Trvanlivost břitů nástroje je definována jako doba, po kterou nástroj pracuje od naostření do otupení. Trvanlivost břitů T je základní veličinou, určující vztah řezných podmínek k hospodárnosti obrábění.

Konec trvanlivosti nastává, jakmile není zaručena spolehlivá funkce břitů. Ta je dána opotřebením břitů. Opotřebení má mimo jiné vliv na jakost obrobeného povrchu, rozměrové přesnosti obrobku, schopností kontrolovaného odchodu třísky, na velikosti řezné síly. V nejkrajnějším případě končí trvanlivost nástroje lomem břitů, který ovšem vede ke vzniku zmetků, případně i poškození dalších nástrojů či celého stroje. To platí zejména při obrábění na uzavřených automatizovaných obráběcích strojích, kde proces probíhá bez dohledu obsluhy. Možnost stanovení trvanlivosti a spolehlivosti břitů je proto důležitým bodem.

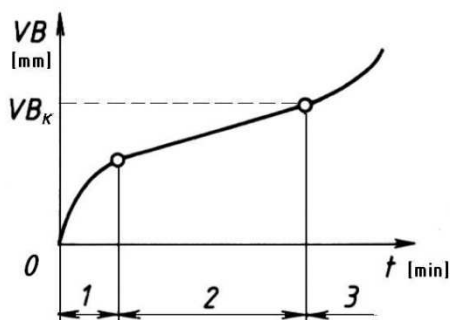
Postupné opotřebení břitů se projevuje nejčastěji tvořením výmolu na čele a nepravidelnou ploškou na hřbetě. Hodnota hloubky výmolu bývá označována KT . Nejvíce užívaným kritériem pro posuzování otupení nástroje je však v praxi vznik hřbetní plošky. Velikost tohoto opotřebení se hodnotí šířkou opotřebení hřbetu VB (viz obr. 5). Maximální přípustnou hodnotu opotřebení je v tomto případě stanovena mezní hodnotou opotřebení hřebu VB v milimetrech.



Obr. 5 - Formy opotřebení nástroje a jejich označení [4]

Časový průběh opotřebení hřbetní plochy se vyznačuje třemi fázemi (viz obr. 6) :

1. oblast: velmi rychlé otupení vlivem nerovnosti ostří a malé plochy ostří, což je typické u právě přeostršených nástrojů
2. oblast: rovnoměrný průběh otupení
3. oblast: intenzivní průběh otupení končící lavinovitým otěrem během krátké doby



Obr. 6 - Průběh opotřebení hřbetní plochy břitu v závislosti na čase [15]

Trvanlivost břitu nástroje závisí zejména na:

- druhu obráběného materiálu
- druhu řezného materiálu (břitu)
- řezných podmínkách (řezná rychlost, posuv, hloubka záběru)
- vlastnostech řezného prostředí (chlazení, mazání)
- geometrii řezného nástroje
- způsobu namáhání nástroje (plynulost řezu, vibrace atd.)

Závislost trvanlivosti nástroje na řezných podmínkách vyjadřuje Taylorův vztah:

$$T = \frac{C_T}{v_c^m \cdot a_p^x \cdot f^y}, \quad (2)$$

případně zjednodušený Taylorův vztah:

$$T = \frac{C_T}{v_c^m}, \quad (3)$$

kde T ... trvanlivost nástroje [min],

v_c ... řezná rychlost [m.min⁻¹],

a_p ... hloubka záběru [mm],

f ... posuv [mm.ot⁻¹],

C_T ... konstanta Taylorova vztahu, vyjadřující vliv řezných podmínek [-],

x ... exponent Taylorova vztahu [-],

y ... exponent Taylorova vztahu [-],

m ... exponent Taylorova vztahu závisející na řezném materiálu [-].

Z řezných podmínek má výrazný vliv na trvanlivost ostří řezná rychlost.

S rostoucí řeznou rychlostí klesá trvanlivost a mezní velikost opotřebení nastane v kratším čase. Průběh závislosti trvanlivosti na řezné rychlosti lze obecně vyjádřit křivkou (viz obr. 7), která je dána vztahem:

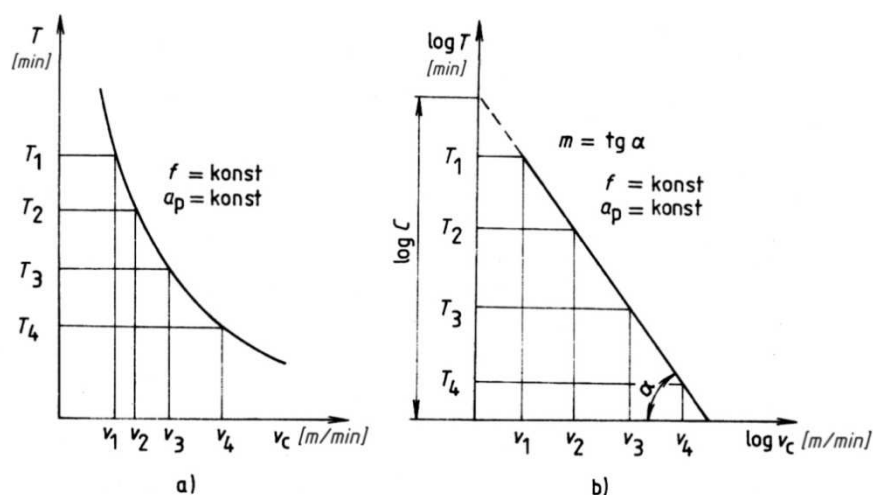
$$C_{TV} = T \cdot v^m = T_1 \cdot v_1^m = T_2 \cdot v_2^m = T_3 \cdot v_3^m = T_4 \cdot v_4^m, \quad (4)$$

$$\text{z toho } T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^m, \quad (5)$$

kde C_T ... konstanta Taylorova vztahu, vyjadřující vliv řezných podmínek [-],

T ... trvanlivost nástroje [min],

v ... řezná rychlost [m.min⁻¹].



Obr. 7 - Závislost trvanlivosti nástroje na řezné rychlosti (a - přirozené souřadnice, b - logaritmické souřadnice) [15]

Je-li známa hodnota trvanlivosti T_1 odpovídající určité řezné rychlosti v_1 , lze podle tohoto vztahu určit trvanlivost T_2 pro jinou řeznou rychlost v_2 , při jinak stejných podmínkách obrábění (5).

Dalším důležitým kritériem v ekonomickém hodnocení obrábění je životnost nástroje \check{Z} . Životnost nástroje (6) je součet trvanlivostí ostří při přeastřování až do jeho vyřazení z provozu. Platí pro něj vztah:

$$\check{Z} = (n + 1) \cdot T , \quad (6)$$

kde \check{Z} ... životnost nástroje [min],

T ... trvanlivost nástroje [min],

n ... počet přeastření [-].

[11][9][15]

1.6.1 Příčiny opotřebení břitu nástroje

Opotřebování (otupování) břitu nástroje je výsledkem kombinace několika zatěžujících faktorů, působících na břit při obrábění. Schopnost řezného materiálu odolávat těmto zatížením určuje, jakou formou je těmito mechanismy ovlivňováno opotřebení břitu. Nejdůležitějšími zatěžujícími faktory jsou:

- mechanický,
- tepelný,
- chemický,
- abrazivní.

Působením těchto zatěžujících faktorů, vyvolaných vzájemnou interakcí nástroje a obrobku při řezání, vznikají následující mechanismy opotřebení břitu nástroje:

- abrazivní opotřebení,
- difuzní opotřebení,
- oxidační opotřebení,
- adhezní opotřebení,
- plastická deformace,
- lom (statický nebo dynamický).

Abrazivní opotřebení je rozšířenou formou opotřebení. Je způsobené především působením tvrdých částic struktury obráběného materiálu na materiál břitu. Schopnost břitu odolávat abrazivnímu otěru je dána především jeho tvrdostí a strukturou. Odolnost vůči abrazivnímu opotřebení se obecně zvyšuje s rostoucím množstvím obsažených tvrdých částic v řezném materiálu.

Difuzní opotřebení je dáno působením chemických vlivů mezi materiály obrobku a nástroje při procesu obrábění. Rozhodujícím činitelem pro vznik difuzního opotřebení je chemické složení řezného materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku. Zároveň se účinek difuze zvyšuje s rostoucí teplotou. Difundující atomy vnikají do mřížky kovu nástroje a vytvářejí nové tuhé roztoky nebo chemické vazby. Vlastnosti vznikajících struktur jsou vždy horší než u původní struktury. Tím vzniká defektní vrstva s menší pevností, která se postupně stírá a vzniká opotřebení. K difuznímu otěru například dochází při obrábění oceli nástroji z SK, kdy dochází k transferu feritu oceli do nástroje a naopak atomy uhlíku, které inklinují k difuzi do železa, putují do odřezávaných třísek. Výsledným projevem je v tomto případě vznik žlábků na čele břitu.

Oxidační opotřebení souvisí se vznikem vysokých teplot při řezném procesu, které společně s okolním vzduchem mají oxidační účinky na nástrojový materiál. Oxidační opotřebení vzniká především v místě, kde dochází k přerušení kontaktu odváděné třísky s břitem a vzduch tak má přístup k místu poblíž řezu. Působením oxidace vznikají v těchto místech typické žlábků, které jsou však v dnešní výrobě relativně vzácným jevem.

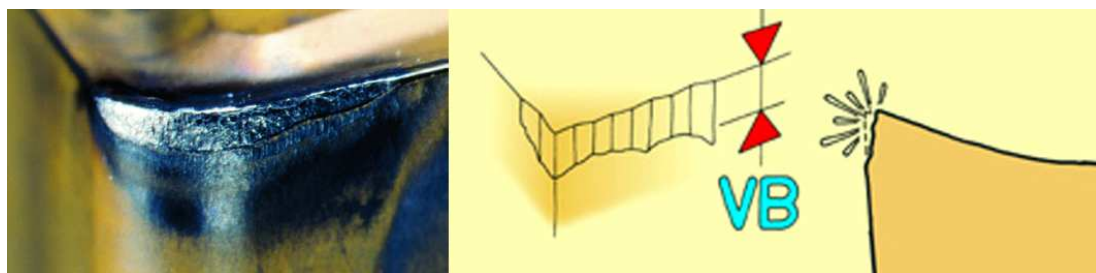
Adhezní opotřebení vzniká působením vysokých místních tlaků. Je způsobený vytrháváním částic břitu v důsledku adhezních spojů mezi břitem a obráběným materiálem. Vyskytuje se na čele břitu nástroje, především při nízkých teplotách a řezných rychlostech. Tento jev vede k tvorbě nárůstků mezi třískou a břitem. Vznikající nárůstek se vlivem navařování a vytvrzování může na břitu vrstvit. Takto vzniklý nárůstkový břit může tvořit základ pro další tvorbu nárůstku. Může také poškodit původní břit vylomením nebo vydrolením.

Plastickou deformaci břitu může způsobit kombinace vysokých teplot a řezných tlaků působících na břit nástroje. Deformace břitu (vyboulení) způsobí změnu jeho geometrie, ještě více zvýší teplotu, vyvolá změnu v odchodu třísek a může rychle dosáhnout kritického stavu. Toto opotřebení lze zmenšit změnou zaoblení ostří a volbou vhodné geometrie břitu.

Lom břitu řezného nástroje může být způsoben termomechanickým působením při řezném procesu. Kolísání teploty a mechanického namáhání řeznými silami má za následek únavu materiálu. Příčinou vytvoření křehkého lomu může být i příliš vysoká pevnost a tvrdost obráběného materiálu spolu s vysokými řeznými parametry nebo křehkost řezného nástroje. [3][9]

1.6.2 Druhy opotřebení břitu nástroje

Opotřebení hřbetu nástroje (viz obr. 8) je způsobeno abrazivním působením tvrdých částic v materiálu obrobku při řezném procesu. Je to nejčastější a také preferovaný způsob opotřebení, jelikož umožňuje stabilní a předvídatelnou životnost nástroje. Rychlost opotřebení lze obecně snížit například snížením řezné rychlosti nebo použitím tvrdšího řezného materiálu. Nadměrné opotřebení hřbetu vede ke zhoršení jakosti povrchu, nepřesnosti rozměrů obrobku a nárůstem řezných sil v důsledku změny geometrie břitu. [9]



Obr. 8 - Opotřebení hřbetu břitu [18]

Opotřebení na čele v tvaru žlábků neboli tzv. výmol (viz obr. 9) vzniká jednak abrazivním působením částic z ubíraného materiálu a jednak působením difuzních pochodů v místě mezi třískou a materiálem břitu, kde působí nejvyšší teplota. Opatření proti vzniku tohoto opotřebení je použití tvrdšího řezného materiálu s vyšší tvrdostí a otěruvzdorností za vysokých teplot, menší afinitou vůči obráběnému materiálu, snížením řezné rychlosti nebo intenzivnějším chlazením. Velký výmol má za následek změnu geometrie břitu, což může změnit tvar třísky a směr působení řezných sil a také zeslabení břitu. [9]



Obr. 9 - Opotřebení čela ve tvaru žlábků [18]

Opotřebení ve tvaru vrubu na hřbetě břitu (viz obr.10) se objevuje na hlavním nebo vedlejším hřbetu břitu. Na hlavním hřbetu je způsoben adhezními jevy nebo může souviset s oxidačním opotřebením. Vrub vzniká v místě, kontaktu břitu s bokem třísky v místě, kudy proniká vzduch do oblasti řezu. Vruby vzniklé na vedlejším hřbetu mají původ v mechanickém působení tvrdých částic materiálu obrobku. Nadměrně velké opotřebení ve tvaru vrubu ovlivňuje utváření třísky a může vést k lomu břitu. [9]



Obr. 10 - Opotřebení hřbetu ve tvaru vrubu [18]

Plastická deformace břitů (viz obr. 11) je výsledkem kombinace působení nadměrných teplot a tlaků na břit při řezném procesu. Ty jsou zapříčiněny především vysokými řeznými rychlostmi a posuvy a také vysokou tvrdostí materiálu obrobku.

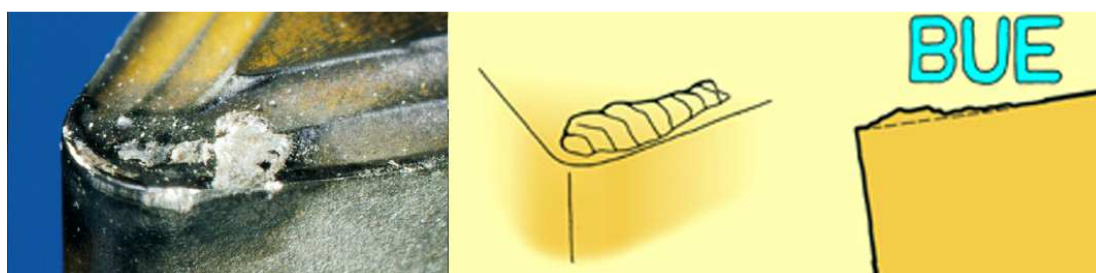
Typickým projevem je deformace břitu ve tvaru vyboulení, které způsobí další zvýšení teploty a může tak velmi brzy dosáhnout kritického stádia. Toto opotřebení lze omezit vhodnou geometrií břitu a zaoblením ostří. [9]



Obr. 11 - Plastická deformace břitu [18]

Tvorba nárůstku na břitu (viz obr. 12) je způsobena navařováním částic materiálu třísek na čelo břitu za studena. Nárůstek se díky vysokým tvářecím tlakům vyznačuje vysokou pevností a tvrdostí, která je několikrát větší než je tvrdost materiálu třísky. Do jisté míry může převzít funkci břitu. Jeho tvorba má za následek zhoršení jakosti povrchu obrobku a zvýšené riziko lomu břitu nástroje. Nárůstek je nestabilní a vlivem působících sil dochází k jeho částečnému odtrhávání. Po odtržení se celý děj tvorby opakuje s vysokou frekvencí (10^2 až 10^5 Hz). V případě odlomení celého nárůstku se zpravidla odtrhne i s částí břitu nástroje. Jeho tvorba je nejintenzivnější při teplotách mezi 300 až 400°C a při malých řezných rychlostech.

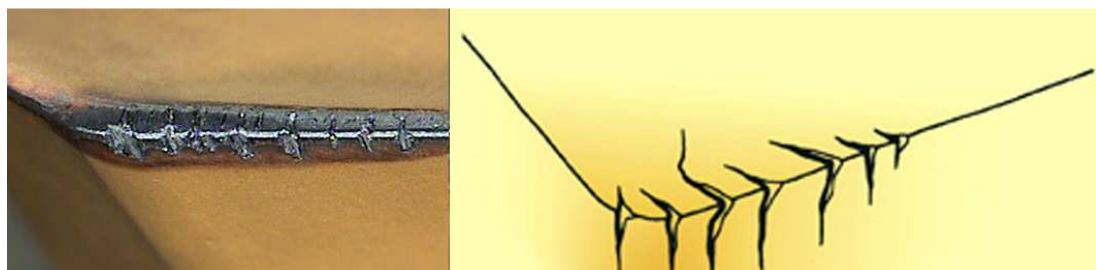
V současné době probíhá velká část obrábění nad oblastí tvorby nárůstku a moderní řezné materiály potlačují jeho tvorbu, proto je jeho výskyt poměrně vzácný. [9][7]



Obr. 12 - Nárůstek na břitu [18]

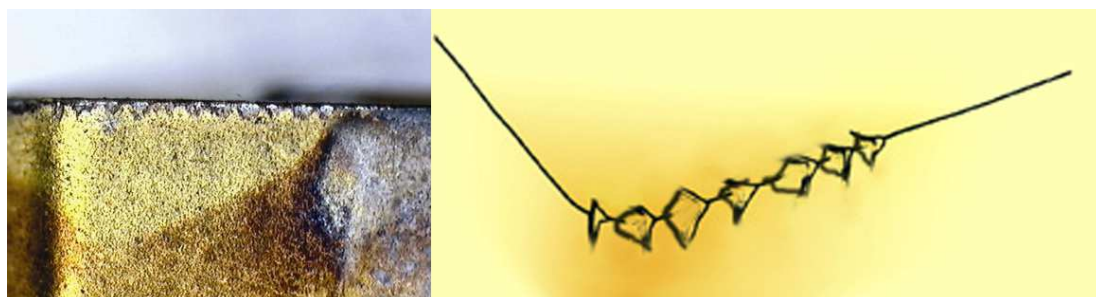
Hřebenové trhliny (viz obr. 13) vznikají působením teplotních šoků, kterými jsou typicky vystaveny břity frézovacích nástrojů vlivem přerušovaného řezu. Vzniklé trhliny jsou orientovány kolmo k ostří. Částice nástroje mezi trhlínami se

mohou vylamovat a vyvolat náhlý lom břitu. Použití chladicích kapalin vznik tohoto druhu opotřebení ještě podpoří, protože zvýší rozdíly teplot při záběru břitu v materiálu a při výstupu mimo něj. [9]



Obr. 13 - Hřebenovité trhliny na ostří [18]

Vydrolování ostří je druh opotřebení, při kterém se břit namísto stejnoměrného opotřebování vydroluje (viz obr. 14). Vyskytuje se nejčastěji při obrábění s přerušovaným řezem. Je způsobeno špičkami zatížení, které způsobí, že částčky břitu se začnou oddělovat od povrchu břitu. Odlupování materiálu a vznik trhlín může být předzvěstí lomu břitu.

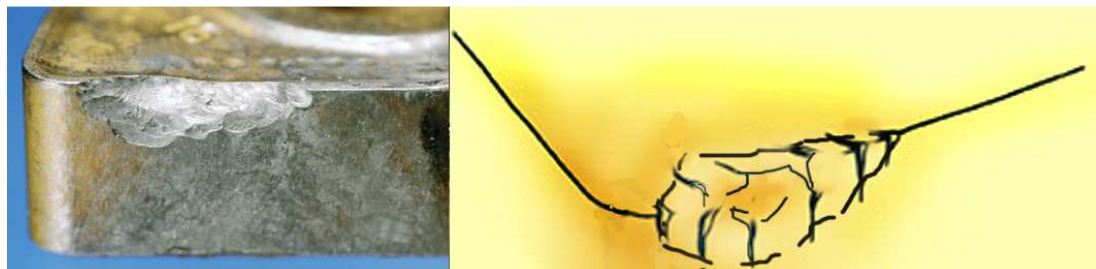


Obr. 14 - Vydrolené ostří [19]

Únavový lom břitu je následkem působení nadměrně velkých změn velikosti řezných sil. Tyto síly, které by jinak nebyly samy o sobě nebezpečné, mohou v důsledku dlouhodobějšího působení vyvolat porušení soudržnosti břitu. Lomové plochy vzniklé tímto mechanismem probíhají paralelně s ostřím.

Lom břitu (viz obr. 15) nástroje vzniká v důsledku náhlého přetížení břitu mechanickým namáháním nebo vlivem malé houževnatosti řezného materiálu. Tato namáhání mohou vznikat například z důvodu nadměrných řezných sil od vysokých posuvů a hloubek záběrů, tvorby nárůstku, nadměrného opotřebení nebo nárůstem

řezných sil vlivem tvrdých vměstků v materiálu obrobku (např. písek). Lom je náhlou poruchou, která představuje okamžitý konec trvanlivosti nástroje. Totální lom může způsobit v důsledku značné škody. [9]



Obr. 15 - Vylomené ostří [18]

1.7 Analýza vlivu procesní kapaliny na trvanlivost nástroje

Řezné prostředí působí během procesu řezání svým chladícím, mazacím a čistícím účinkem. To se projeví jak na jakosti povrchu obrobku, tak na trvanlivosti nástroje. Při stejných řezných podmínkách tak lze za použití vhodného prostředí dosáhnout zlepšení v obou ohledech.

Trvanlivost bříty nástroje je mimo mnoha jiných vlivů závislá na velikosti řezných sil a teplotě řezání, což jsou parametry do značné míry ovlivnitelné řezným prostředím. Snahou procesních kapalin je dosažení co nejlepších výsledků ve všech ohledech. Vliv na trvanlivost nástroje je jedním z priorit na ně kladených. Svým chladícím účinkem procesní kapalina sníží teplotu řezání odvodem tepla z třísky, obrobku a nástroje. To způsobí pokles maximální teploty, které je nástroj vystaven. Mazací účinek procesních kapalin sníží velikost třecích sil a potažmo také sníží teplotu řezání a velikost mechanického namáhání bříty. Do jisté míry může i čistící účinek napomoci snížení namáhání nástroje díky vyplavování třísek, které se tak nehromadí v okolí řezu a dále nezvyšují tření, neotupují dále nástroj a nebrání odvodu tepelné energie. Všechny tyto vlivy se v závislosti na dalších parametrech promítnou do výsledné trvanlivosti nástroje při obrábění.

V některých případech však může chlazení kapalinou způsobit vznik hřebenových trhlinek, které mohou podpořit vydrolování ostří nebo i vyvolat náhlý lom bříty. Toto se stává hlavně při obrábění s přerušovaným řezem, kdy je břit

vystaven teplotním šokům (hlavně při frézování nástroji z SK). V takovém případě je vliv procesní kapaliny na trvanlivost nástroje negativní. [10]

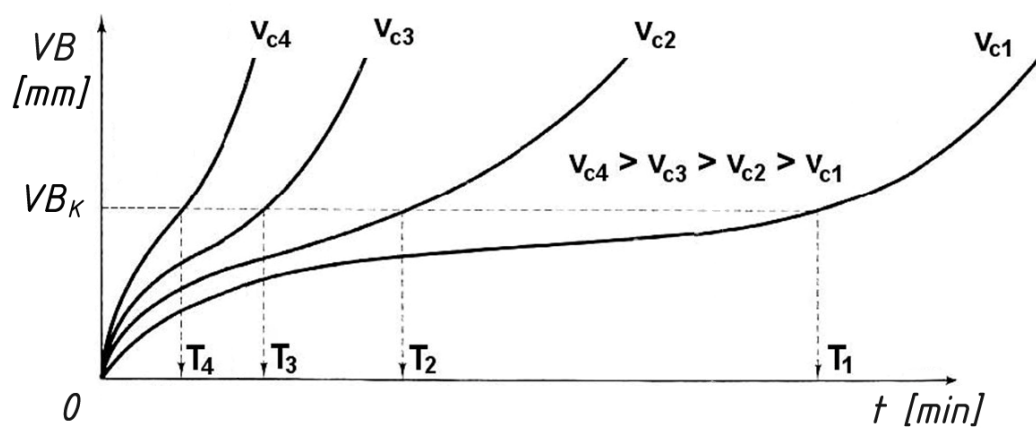
Analýza vlivu různých procesních kapalin na trvanlivost nástroje je jedním z cílů této bakalářské práce.

1.7.1 Zkoušky trvanlivosti nástroje

Zkoušky trvanlivosti nástroje se používají buď pro zjištění nejvhodnějšího materiálu obráběcího nástroje nebo nejvhodnější geometrie břitu nástroje pro konkrétní způsob obrábění a obráběný materiál. Lze jimi také zjistit vliv řezného prostředí na trvanlivost nástroje. Zkoušky trvanlivosti nástroje mohou být buď krátkodobé nebo dlouhodobé.

Krátkodobé zkoušky trvanlivosti jsou založeny na opakovaném měření intenzity opotřebení břitu nového nástroje. Zkouška probíhá tak, že se opakovaně po předem stanovený čas obrábí materiál různými řeznými rychlostmi, přičemž posuv nástroje a hloubka řezu zůstávají konstantní. Hlavní výhodou této zkoušky je poměrně krátký čas nutný k jejímu provedení a její menší náklady. Touto zkouškou zjišťujeme míru intenzity opotřebení v závislosti na velikosti řezné rychlosti, pro kterou obecně platí, že s narůstající řeznou rychlostí se zvyšuje intenzita opotřebení břitu nástroje.

Dlouhodobé zkoušky trvanlivosti se snaží popsat trvanlivost nástroje v závislosti na čase obrábění nebo na počtu obrobených kusů, či na množství odebraného materiálu. Zkouška probíhá podobně jako u krátkodobých zkoušek, to znamená, že po předem stanovený časový úsek se opakovaně obrábí daný materiál. Pokaždé se měří velikost opotřebení břitu nástroje. Zkouška však pokračuje až do doby, kdy dosáhne zvolené hodnoty míry opotřebení VB_K . Součet všech časů řezání, který koresponduje se vzniklým opotřebením až na kritickou mez, odpovídá trvanlivosti nástroje T . Tyto zkoušky se opakují s různými řeznými rychlostmi, avšak s konstantním posuvem a hloubkou záběru. Průběhy opotřebení nástroje s různými řeznými rychlostmi v závislosti na čase jsou zaneseny do grafu (viz obr. 16). Vynesené hodnoty trvanlivostí a odpovídajících řezných rychlostí při zvolené hodnotě opotřebení VB_K lze přenést do grafu závislosti trvanlivosti na řezné rychlosti (viz obr. 7) , který lze vyjádřit Taylorovým vztahem (2). [12][20][22]



Obr.16 - Průběh opotřebení nástroje v závislosti na čase při různých rychlostech [16]

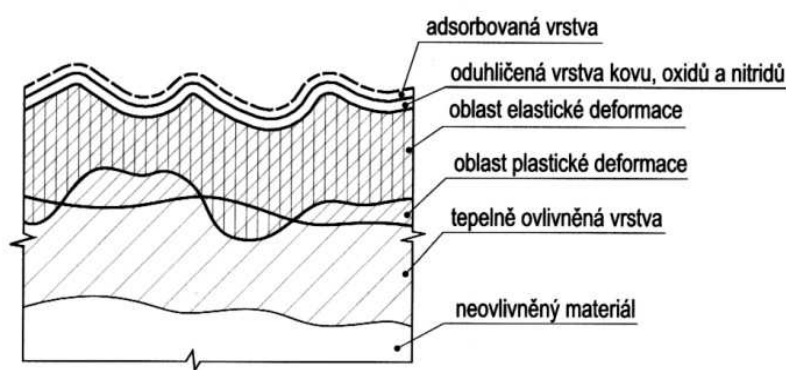
2 SHRnutí POZNATKŮ O KVALITĚ POVRCHU PO OBRÁBĚNÍ. DEFINICE POJMU DRSNOSTI POVRCHU, METODY MĚŘENÍ DRSNOSTI POVRCHU

2.1 Shrnutí poznatků o kvalitě povrchu po obrábění

Kvalita povrchu strojních součástí je důležitým parametrem zajišťujícím správnou funkčnost a často také estetickou hodnotu výrobku. Souhrn všech těchto vlastností a charakteristik povrchu strojních součástí, vzniklé výrobním procesem lze také vztáhnout pod pojem integrita povrchu. Integrita povrchu bere v úvahu důsledky působení technologických metod, jejich vliv na jakost obrobené plochy a dává je do vztahu k požadavkům na funkčnost celého výrobku.

Vnější vrstva materiálu obrobku (viz obr. 17) vzniká jako výsledek interakce materiálu obrobku a nástroje při určitých technologických podmínkách. Kvalitu obrobeného povrchu je možné posuzovat z hlediska:

- geometrie obrobeného povrchu,
- fyzikálně-mechanických vlastností povrchové vrstvy,
- fyzikálně-chemických vlastností povrchové vrstvy. [24]



Obr.17 - Povrchová vrstva obrobku [4]

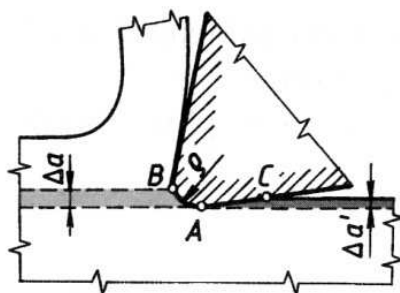
2.1.1 Geometrie obrobeného povrchu

Geometrické vlastnosti obrobeného povrchu jsou mimo rozměrové a tvarové přesnosti dány drsností a mikrostrukturou povrchu. Drsnost a mikrostruktura povrchu vzniklá obráběním je ovlivněna bezprostředně procesem řezání. Nejvýznamnější vliv na ně má řezná rychlost, posuv, geometrie nástroje, opotřebení břitu nástroje, tuhost

soustavy stroj-nástroj-obrobek, vlastnost materiálu obrobku, působení rezného prostředí, vibrací apod. [12][7]

2.1.2 Fyzikálně-mechanické vlastnosti povrchu

Při řezání třísky vznikají v povrchové vrstvě obrobku plastické deformace. Deformace této vrstvy způsobují strukturní změny materiálu a zpevnění. Tyto změny jsou maximální na povrchu a jsou úměrné velikosti zbytkových pnutí po obrábění. Změny vlastností povrchových vrstev lze zkoumat například měřením mikrotvrdosti. Hloubka zpevnění a jeho intenzita je závislá na metodě obrábění a rezných podmínkách. Při hrubování dosahuje hloubek 0,2 až 0,5 mm, při obrábění načisto 0,02 až 0,1 mm. Plastické deformace a teplotní vlivy obrábění jsou v největší míře ovlivněny teplotou a geometrií nástroje (např. poloměrem zaoblení ostří). Plastická deformace a potažmo i velikost zbytkového pnutí obrobené plochy je z významné části způsobena v důsledku zaoblení ostří nástroje (viz obr.18).



Obr. 18 - Vliv zaoblení ostří na plastickou deformaci povrchové vrstvy obráběného materiálu (BAC – styk břitu nástroje s plochou řezu; Δa – stlačovaná vrstva materiálu - celková deformace; $\Delta a'$ – odpružení stlačovaného materiálu – pružná deformace; ρ – poloměr zaoblení ostří) [7]

Při nízkých teplotách řezání vznikají v povrchové vrstvě napětí tlaková a ve spodních vrstvách napětí tahová. Při vysokých teplotách ohřátá povrchová vrstva ochlazováním snižuje svůj objem, čemuž brání spodní studenější vrstva a vznikají tak v povrchu napětí tahová a ve spodní vrstvě pnutí tlaková. Pnutí v povrchu obrobků má vliv například na odolnost proti mechanickému opotřebení a především na mez únavy. Platí, že tlaková pnutí mez únavy zvyšují a naopak tahová napětí mez únavy snižují a jsou příčinou únavových trhlin a lomů. [12][7]

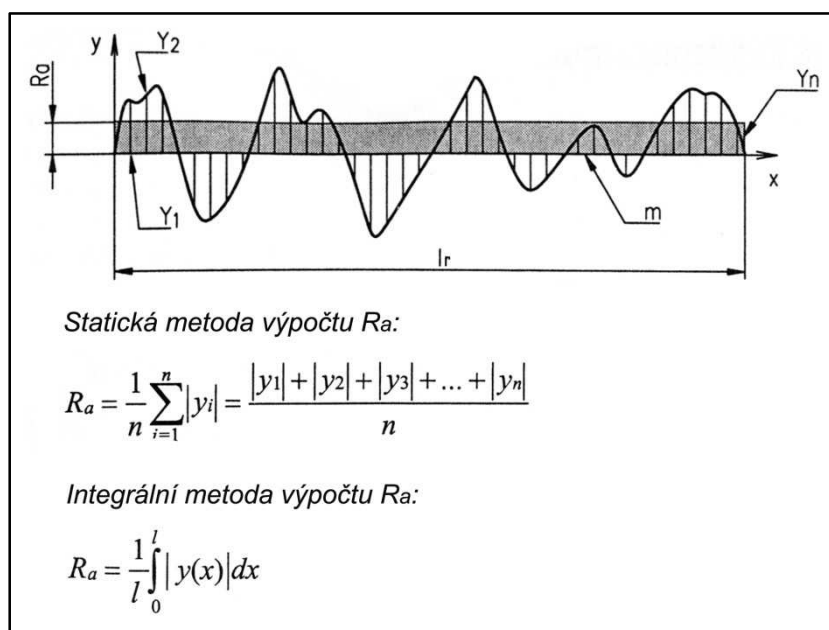
2.1.3 Fyzikálně-chemické vlastnosti povrchu

Mezi fyzikálně-chemické vlivy na vlastnosti povrchu obrobku se dají zařadit strukturní a fázové změny materiálu a chemické procesy spojené s reakcí částic pronikajících do povrchové vrstvy obráběného materiálu. Chemickým procesem ovlivňující povrchovou vrstvu může být například oxidace nebo oduhličení. Výskyt těchto jevů zásadním způsobem ovlivňuje velikost teploty řezání. [9][24]

2.2 Definice pojmu drsnost povrchu

Drsnost povrchu je souhrn nerovností s relativně malou vzdáleností, které nevyhnutelně vznikají na plochách součástí při výrobě a mají velký význam při jejich funkci nebo mají estetický účel. Stupeň drsnosti povrchu při obrábění je dána velikostí nerovností, které na ni zanechal břit nástroje po svém průchodu. Do hodnocení drsnosti se nezapočítávají náhodné vady povrchu, vznikající ojediněle (např. rysky, trhlinky, důlky apod.), které vznikají vadami materiálu, poškozením a podobně.

Podle způsobu obrábění může mít povrch materiálu buď pravidelnou nebo nepravidelnou drsnost. U pravidelné orientace nerovností záleží na směru měření drsnosti povrchu, kdežto u nepravidelné na směru měření nezáleží. Při měření drsnosti s pravidelnou strukturou se měří vždy maximální drsnost, což bývá kolmo na hlavní řezný pohyb. Metodiku hodnocení drsnosti povrchu udává norma ISO 468.



Obr. 19 - Profil povrchu a metodika hodnocení drsnosti povrchu R_a [26]

Vybrané parametry popisující drsnost povrchu:

Ir ... základní délka [mm] – Délka použitá pro rozpoznání nerovností, charakterizující vyhodnocovaný profil. Musí být dostatečně velká, aby měřené parametry byly dostatečně významné, ale ne tolik, aby se neprojeвили nepodstatné detaily.

In ... vyhodnocovaná délka [mm] – Délka použitá pro posouzení vyhodnocovaného profilu. Může obsahovat jednu nebo několik základních délek. Běžně se používá 5 základních délek, v jiném případě se musí počet vyznačit.

It ... celková délka [mm] – Délka pohybu snímače drsnoměru. Skládá se z vyhodnocované délky a dráhy pro rozjezd a doběh snímače.

m ... střední čára profilu [-]

Ra ... průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu [μm] – Aritmetický průměr absolutních hodnot výšek všech bodů v rozsahu základní délky. (viz obr.19)

Rz ...největší výška profilu [μm] – Součet největší výšky výstupku profilu a největší hloubky prohlubně profilu v rozsahu základní délky.

RSm... průměrná šířka prvků profilu [μm]

C_{TP50} ... (není normováno) hloubka, ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1 (50% kovového materiálu a 50% vzduchu)[μm] .

Nerovnosti tvořící strukturu povrchu obrobku jsou kromě drsnosti ještě například vlnitost nebo jiné úchylky tvaru. Vlnitost je rozměrová nerovnost povrchu pravidelně se opakující avšak větších rozměrů, než kterými vyjadřujeme drsnost. Při měření drsnosti je nutno provést oddělení jednotlivých složek nerovností, což se provádí filtrováním. Definici jednotlivých geometrických parametrů pro hodnocení drsnosti udává norma ČSN EN ISO 4287. [23][26][27]

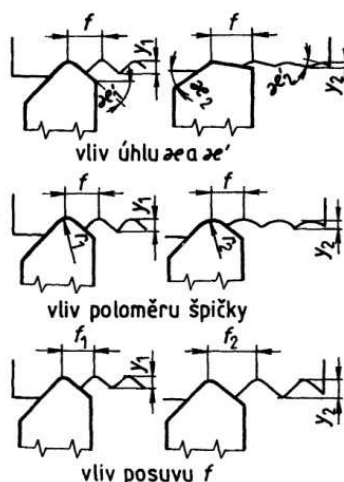
2.2.1 Vliv řezných podmínek na drsnost povrchu

Drsnost povrchu obrobků je zásadně ovlivněna použitou metodou obrábění. Výsledný stupeň drsnosti povrchu při obrábění závisí zejména na:

- zvolené metodě obrábění,
- fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu,
- tvaru a geometrii břitu nástroje,
- velikosti posuvu,
- řezné rychlosti,
- tuhosti soustavy stroj-nástroj-obrobek,
- na řezném prostředí.

Z **geometrie břitu** nástroje ovlivňují drsnost obrobené plochy zejména úhly nastavení ostří κ a κ' a zaoblení špičky nástroje (viz obr. 20). Větší úhly mají za následek větší drsnost. Se vzrůstajícím poloměrem špičky naopak drsnost klesá.

Posuv má na drsnost povrchu největší vliv a platí, že se snižující se rychlostí posuvu drsnost obrobené plochy klesá (viz obr.20)



Obr. 20 - Vliv úhlu nastavení ostří, poloměru špičky nástroje a posuvu na drsnost obrobené plochy. (f – posuv; r – poloměr zaoblení špičky nástroje, κ – úhel nastavení hlavního ostří; κ' – hloubka nastavení vedlejšího ostří; y – hloubka nerovnosti) [7]

Velikost **řezné rychlosti** má na drsnost malý vliv. Větší drsnost se však může projevovat při nižších řezných rychlostech, kdy je větší možnost tvorby nárůstku.

Malá **tuhost soustavy** S-N-O může mít za následek vznik chvění, které negativně ovlivní drsnost.

Řezné prostředí může mít při použití vhodných procesních kapalin příznivý vliv na drsnost obrobku. To platí zejména pro kapaliny s mazacím účinkem, které omezují tření na ploše řezu a omezují tvorbu nárůstku. [7][12]

2.3 Metody měření drsnosti povrchu

Stanovení drsnosti povrchu lze provést různými způsoby. V zásadě se tyto způsoby dají rozdělit na:

- kvalitativní metody,
- kvantitativní metody.

Kvalitativní metody jsou založeny na porovnávání hodnoceného povrchu se vzorovým povrchem, jehož drsnost známe. Pro porovnávání slouží vzorkovnice povrchů, které jsou vyrobeny různými druhy opracování a různými stupni drsnosti. Srovnávání probíhá bez číselného vyhodnocení. Nejjednodušší metodou porovnávání drsnosti povrchu je přímé posouzení lidskými smysly, což je zrakem a hmatem. Pro přesnější porovnání zrakem se používá lupa nebo porovnávací mikroskop. Přesnost této metody je malá, proto slouží jen pro běžné a rychlé posouzení povrchu v dílenském provozu.

Kvantitativní metody vyjadřují stupeň drsnosti číselnou hodnotou. Pro tento způsob stanovení je nutné použití měřicího přístroje, tzv. profilometry. Profilometry pracují nejčastěji na mechanickém nebo optickém principu.

Přístroje s mechanickým principem (viz obr. 21), pracují na základě snímání profilu povrchu pomocí dotyku. Snímání povrchu má na starosti raménko se snímacím hrotem, které se pohybuje po měřeném povrchu určitou konstantní rychlostí, nejčastěji pomocí elektromotoru. Snímaný mechanický signál se u moderních přístrojů transformuje na elektrický a ten je dále zpracováván a vyhodnocován pomocí softwaru. Tyto přístroje mohou být laboratorní nebo přenosné.



Obr. 21 - Přenosný dotykový drsnoměr [30]

Optické profilometry mohou pracovat na principu interference světla. V okuláru takového přístroje jsou vidět rovnoběžné proužky, které jsou případnou nerovností v tom místě vychýleny. Vychýlení proužků se změří a pomocí vlnové délky světla se přepočítá a zjistí hodnoty profilu povrchu.

Další optická metoda měření drsnosti pracují na základě světelného řezu. Kontrolovaný povrch je v tomto případě osvětlován pod úhlem nejčastěji 45° a pozoruje se měřícím mikroskopem pod úhlem kolmým na směr světelných paprsků osvětlující povrch. Naměřená hodnoty se pak musí přepočítat do směru kolmého k měřenému povrchu. Na optickém principu funguje také metoda využívající pro měření drsnosti povrchu odraz světla do fotobuňky, která umožňuje registraci světelného toku v odražené části.

Při vyhodnocování drsnosti je nutné měření opakovat v několika místech a vypočítat střední hodnotu drsnosti. [12][23]

3 NAVRŽENÍ METODIKY ZKOUMÁNÍ TRVANLIVOSTI NÁSTROJE A DRSNOSTI POVRCHU PŘI SOUSTRUŽENÍ KONSTRUKČNÍ OCELI V LABORATOŘI KOM FS TUL

3.1 Popis použitých zařízení, přístrojů a nástrojů

CNC soustruh CHEVALIER FCL-2140

Měření vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje při soustružení bylo provedeno na CNC soustruhu FCL-2140 (obr. 22) vybaveným řídicím systémem FAGOR 8055i.



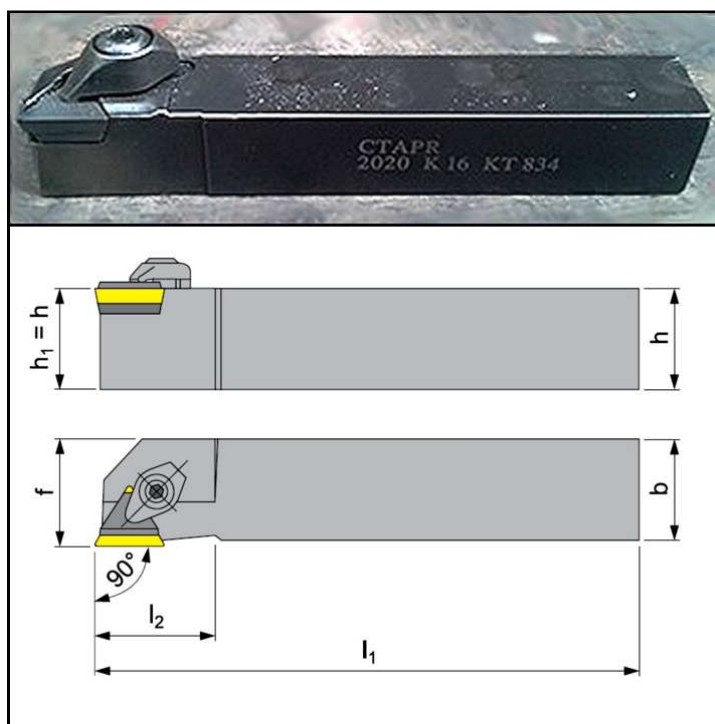
Obr. 22 - CNC soustruh Chevalier FCL-2140

Základní technické specifikace CNC soustruhu CHEVALIER FCL-2140 [32]

- | | | |
|------------------------------|----------------|-----------|
| • Oběžný průměr nad ložem | 540 | [mm] |
| • Oběžný průměr nad suportem | 310 | [mm] |
| • Točná délka | 1000/1500/2000 | [mm] |
| • Rozsah otáček | 27 – 2250 | [ot./min] |
| • Jmenovitý výkon | 20 | [kW] |

Soustružnický nůž CTAPR 2020 K16

Při soustružení obrobku byl použit pravý vnější ubírací soustružnický nůž s vyměnitelnými břitovými destičkami CTAPR 2020 (obr. 23) od firmy Pramet Tools, s.r.o.



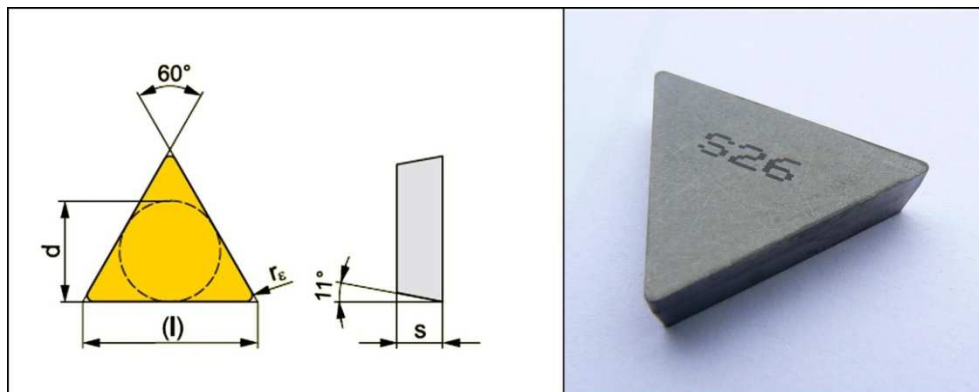
Obr. 23 - Soustružnický nůž CTAPR 2020 K16 [17]

Základní rozměry soustružnického nože CTAPR 2020 K16 [17] :

- $h = h_1$ 20 [mm]
- b 20 [mm]
- f 20,5 [mm]
- l_1 125 [mm]
- l_{2max} 32 [mm]
- úhel nastavení 90 [°]
- úhel čela γ_0^0 0 [°]
- úhel sklonu ostří λ_s^0 +5 [°]

Vyměnitelná břitová destička TPUN 160304 S26

Jako řezný nástroj byla zvolena nepovlakovaná vyměnitelná břitová destička ze slinutých karbidů TPUN 160304 S26 (obr. 24) od firmy Pramet Tools, s.r.o.



Obr. 24 - Vyměnitelná břitová destička TPUN 160304 S26 [17]

Základní parametry břitové destičky TPUN 160304 S26 [17] :

- l 16,5 [mm]
- d 9,525 [mm]
- s 3,18 [mm]
- r_e 0,4 [mm]
- posuv f 0,10 až 0,20 [mm/ot]
- hloubka řezu a_p 0,5 až 16 [mm]
- řezná rychlost v_c 50 – 85 [m/min]

Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

Pro měření koncentrace procesních kapalin při jejich přípravě byl použit přenosný refraktometr Brix 0-18% ATC s přesností $\pm 0,15\%$ (obr. 25). Při stanovování koncentrace bylo nutné naměřenou hodnotu násobit opravným koeficientem pro konkrétní procesní kapaliny.



Obr. 25 - Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC

Nástrojová lupa Brinell

Velikost opotřebení vyměnitelných břitových destiček bylo měřeno přímo metodou pomocí nástrojové lupy Brinell (obr. 26) se čtyřicetkrát násobným zvětšením (24x) a stupnicí po 0,05mm.



Obr. 26 - Nástrojová lupa Brinell

Univerzální soustruh SU-50

Soustružení obrobku, pro analýzu vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu, bylo provedeno na univerzálním soustruhu SU-50 (obr. 27) .



Obr. 27 - Univerzální soustruh SU-50

Základní technické specifikace soustruhu SU-50 [32]

| | | |
|------------------------------|----------|-----------|
| • Oběžný průměr nad ložem | 500 | [mm] |
| • Oběžný průměr nad suportem | 250 | [mm] |
| • Točná délka | 2000 | [mm] |
| • Rozsah otáček | 11– 1400 | [ot./min] |
| • Jmenovitý výkon | 11 | [kW] |

Drsnoměr Mitutoyo SV-2000

Měření drsnosti povrchu bylo provedeno na dotykovém laboratorním drsnoměru Mitutoyo SV-2000 (obr. 28). Tento přístroj pracuje na principu dotykové metody snímání povrchu s transformací mechanického pohybu snímacího hrotu na elektrický signál. Zpracování naměřených dat je prováděno s využitím dodávaného softwaru Surfpak v připojeném stolním počítači. Vyhodnocení parametrů drsnosti probíhá podle normy ČSN EN ISO 4287:1997.



Obr. 28 - Drsnoměr Mitutoyo SV-2000

3.2 Charakteristika použitého obráběného materiálu

Materiál pro měření trvanlivosti

Pro měření trvanlivosti nástroje byla použita konstrukční ocel ČSN 14220. Jedná se o ušlechtilou konstrukční mangan-chromovou ocel vhodnou k cementování, kyanování. Je dobře tvářitelná za tepla, po žíhání na měkko i za studena, je dobře obrobitelná a svařitelná. Strojní součásti z ní vyrobené vynikají velmi tvrdou cementovanou vrstvou a velkou pevností v jádře po kalení.

Její základní mechanické vlastnosti jsou:

- Minimální mez kluzu $R_{e \min}$ 590 [MPa]
- Min. mez pevnosti v tahu R_m 830 [MPa]
- Minimální tvrdost HB 239 [-]

Chemické složení oceli 14220:

- Obsah C 0,14 až 0,19 [%]
- Obsah Mn 0,10 až 0,40 [%]
- Obsah Si 0,17 až 0,37 [%]
- Obsah Cr 0,80 až 1,10 [%]
- Max. obsah P 0,035 [%]
- Max. obsah S 0,035 [%]

Používá se pro výrobu menších hřídelí, ozubených kol, šneků, vačkových hřídelí, včetně obráběcích strojů, pístních čepů per, zubových spojek a pod.[38][37]

Materiál pro měření drsnosti povrchu

Pro měření drsnosti obrobeného povrchu byla použita konstrukční ocel ČSN 14340. Jedná se o konstrukční ocel legovanou především chromem a hliníkem. Je vhodná především k nitridování. Je dobře obrobitelná a tvářitelná za tepla.

Používá se pro výrobu součástí, u nichž se žádá co největší povrchová tvrdost pro automobilový průmysl, letecký průmysl a atd. Před nitridováním se součásti zušlechťují. [38][6]

Chemické složení oceli 14340:

- Obsah C 0,35 [%]
- Obsah Cr 1,5 [%]
- Obsah Al 1 [%]

3.3 Charakteristika použitých procesních kapalin

Jako řezné prostředí pro experiment byly použity vodou mísitelné procesní kapaliny od renomovaných světových výrobců připravených v koncentraci 5%. Jednalo se o kapaliny Blasocut BC 35 Kombi, Hocut 795b, Cimstar 620, dále Paramo EOPS 1030, Grindex 10 a Vasco 1000. Mimo těchto šesti vodou mísitelných procesních kapalin, byla jako procesní prostředí použita i pitná voda z vodovodního řádu.

3.3.1 Procesní kapalina Blasocut BC 35 Kombi

Blasocut BC 35 Kombi je vodou mísitelná emulzní procesní kapalina na základě minerálních olejů. Po namíchání s vodou má mléčný vzhled světle béžové barvy s hodnotou pH 8,5 až 9,2. Je vhodná pro širokou škálu využití. Hodí se hlavně pro středně těžké a lehké třískové obrábění a pro většinu druhů broušení mimo broušení tvrdokovu. Používá se v koncentracích 3 až 15%. Doporučená koncentrace pro soustružení je 5 až 10 %. Vyznačuje se velkou provozní stálostí při jejím užívání,

bez nutnosti přidávání aditiv. Neobsahuje chlor. Jejím výrobcem je společnost Blaser Swisslube AG.[34]

Korekční faktor: 1

Velikost koncentrace na refraktometru: 5 %

3.3.2 Procesní kapalina Hocut 759B

Hocut 759B je emulsní olej s účinnými aditivy neobsahující chlor ani biocidy. S vodou tvoří emulze mléčného vzhledu s vysokou mazací schopností a hodnotou pH= 8,7 až 9,2. Hodí se pro širokou škálu použití, především pro hliníkové slitiny, další lehké slitiny a vysokolegované oceli. Na hliníkových slitinách nezanechává stopy. Pro běžné materiály se připravuje v koncentraci 4 až 6% a pro vysocepevnostní oceli v koncentraci 5 až 10%. Jeho dlouhá životnost je zaručena i bez nutnosti přidávání biocidů. Nevyžaduje výstražné označení v rámci evropské legislativy. Výrobcem této kapaliny je společnost Houghton plc [35]

Korekční faktor: 1

Velikost koncentrace na refraktometru: 5 %

3.3.3 Procesní kapalina Cimstar 620

Cimstar 620 je polosyntetická procesní kapalina tvořící po smísení s vodou emulzi mléčného vzhledu. Je to univerzální kapalina doporučená hlavně pro broušení a další třískové obrábění železných a neželezných kovů. Je vhodná zejména pro obrábění slitin hliníku, na kterém nezanechává žádné stopy. Je navržena zvláště pro použití v měkké vodě. Podle aplikace se používá v koncentraci 3 až 10%, pro soustružení běžných ocelí a litin je doporučena koncentrace 5%. Má velmi dobrou provozní stabilitu a odolnost proti bakteriálnímu působení. Výrobcem této kapaliny je firma Cimcool. [36]

Korekční faktor: 1,4

Velikost koncentrace na refraktometru: 3,6 %

3.3.4 Procesní kapalina EOPS 1030

EOPS 130 je polosyntetická univerzální procesní kapalina. Je to směs vysoce rafinovaného minerálního oleje, emulgátorů a inhibitorů koroze. S vodou vytváří stabilní emulze odolné vůči pění, působení mikroorganismů a vzhledově vykazující pouze určitý stupeň opalescence. Hodí se jak pro třískové obrábění s definovanou geometrií břitů, tak i různé druhy broušení jak železných, tak neželezných materiálů. Používá se v koncentraci 5 až 10% dle způsobu použití. Výrobce je firma Paramo.

Korekční faktor: 1,1

Velikost koncentrace na refraktometru: 4,5 %

3.3.5 Procesní kapalina Grindex 10

Grindex 10 je univerzální chladicí a mazací vodou mísitelná syntetická kapalina. Neobsahuje oleje ani chlor. S vodou tvoří transparentní mírně nažloutlé emulze s hodnotou pH = 9,2 až 9,4. Je vhodná především pro různé typy broušení legovaných ocelí a litin. Podporuje čisticí schopnost brusných kotoučů. Obsažené nečistoty a třísky se v ní rychle usazují a lze je snadno filtrovat. Díky mírně nažloutlému transparentnímu vzhledu umožňuje poměrně dobrý přehled o průběhu řezného procesu. Nelepí, není agresivní vůči součástem stroje a má dobré ochranné účinky i při nízké koncentraci. Používá se v koncentracích 3 až 5%. Má velkou odolnost proti mikrobiálnímu útoku. I díky tomu má vysokou životnost. Jejím výrobcem je společnost Blaser Swissslube AG.[34]

Korekční faktor: 1,6

Velikost koncentrace na refraktometru: 3,1 %

3.3.6 Procesní kapalina Vasco 1000

Vasco 1000 je výkonná univerzální chladicí a mazací procesní kapalina mísitelná s vodou na bázi přírodního esteru bez obsahu chloru. Hlavní složkou této emulzní kapaliny je řepkový olej. Ve srovnání s kapalinami na bázi minerálních olejů mají tyto přírodní oleje polární vazby molekul, což zlepšuje jejich vlastnosti hlavně při působení vysokých tlaků. Namíchaná směs je mléčného vzhledu béžové barvy

s hodnotou pH = 8,6 až 9,0. Lze ji použít pro téměř všechny běžné druhy třískového obrábění a většinu obráběných materiálů. Obzvláště se hodí pro obrábění vysoko legované oceli. Používá se v koncentracích 5 až 15%, z čehož pro soustružení je doporučeno 5 až 8%. Provozní stálost této kapaliny je velmi dobrá. Výhodou je výborná biologická odbouratelnost kapaliny při její likvidaci. Je nutno ji chránit před mrazem. Výrobce této kapaliny je Blaser Swissslube AG[34]

Korekční faktor: 1

Velikost koncentrace na refraktometru: 5 %

3.4 Metodika zkoumání trvanlivosti nástroje při soustružení konstrukční oceli na CNC soustruhu Chevalier FLC – 2140

Součástí této bakalářské práce bylo navržení metodiky měření vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje při soustružení konstrukční oceli. V této kapitole je popsána příprava, postup měření a způsob získávání dat.

Použité zařízení, přístroje a nástroje

- CNC soustruh CHEVALIER FCL-2140
- Soustružnický nůž CTAPR 2020 K16
- Vyměnitelná břitová destička z nepovlakovaného SK TPUN 160304 S26
- Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC
- Nástrojová lupa Brinell

3.4.1 Příprava měření

Příprava CNC soustruhu CHEVALIER FCL-2140

Před uvedením CNC soustruhu CHEVALIER FCL-2140 do chodu, byl stroj zkontrolován. Byly doplněny provozní kapaliny soustruhu (mazací oleje a tuky), aby bylo zajištěno promazání pohyblivých částí stroje. Dále bylo provedeno vyčištění chladicího okruhu stroje od předchozích použitých procesních kapalin, pomocí systémového čističe, použitého v koncentraci 1% s vodou.

Dále byl do paměti CNC soustruhu nahrán CNC program pro obrábění, vycházející z rozměrů použitého polotovaru a z požadavků na analýzu trvanlivosti nástroje (tzn. ze stanovených řezných podmínek). Program připravil pan Ing. Petr Keller.

Před samotným zahájením obrábění bylo ještě nutné najetí do referenčního bodu a nastavení správné korekce pro zvolený nástroj.

Použitý CNC program

Použitý CNC program pro soustruh CHEVALIER FCL-2140 je v příloze č.1.

Příprava polotovaru pro obrábění

Polotovar z válcové tyče Ø 230 mm z materiálu 14 220 pro měření trvanlivosti nástroje byl nejprve uříznut na délku 506 mm na pásové pile Pilous AGR 300 PLUS H.F. Poté bylo provedeno navrtání středícího důlku na čele polotovaru pro upnutí do hrotu koníku soustruhu. Pro navrtání středícího důlku byla použita radiální vrtačka VR4. Vzhledem k hmotnosti a rozměrům polotovaru byl při jeho manipulaci použit dílenský mostový jeřáb.

Připravený polotovar byl na CNC soustruhu upnut do tříčelistového sklíčidla a z druhé strany opřen pomocí otočného hrotu o koník (viz obr. 29). Z důvodu geometrických nepřesností a tvrdé kůry povrchu polotovaru bylo před vlastním měřením trvanlivosti nástroje provedeno několik úběrů třísek v celé délce pro zarovnání polotovaru.



Obr. 29 - Polotovár pro měření trvanlivosti nástroje upnutý na CNC soustruhu CHEVALIER FCL-2140

Příprava procesních kapalin

Všechny procesní kapaliny použité při našem experimentu byly mísitelné s vodou, což vyžadovalo jejich přípravu. Důležitým faktorem je kvalita vody použité pro přípravu. V našem případě byla použita čistá voda z vodovodního řádu s neutrální hodnotou pH (tj. $\text{pH} = 7$). Smíchání koncentrátu s vodou vznikly emulzní kapaliny. Všechny použité procesní kapaliny byly namíchány v koncentraci 5%.

Míchání emulze bylo prováděno v čistých plastových kanystrech o objemu 10 litrů. Koncentrát se nejprve odlil do odměrky, čímž se odměřilo přibližné množství pro namíchání procesní kapaliny o požadované koncentraci. Pak se odměřený koncentrát přiléval za stálého míchání do kanystru s vodou.

Přesné koncentrace procesní kapaliny bylo dosaženo pomocí měření ručním refraktometrem (viz obr. 25) ohledem na korekční faktor. Při stanovování koncentrace bylo nutné naměřenou hodnotu násobit opravným koeficientem pro konkrétní procesní kapalinu.

Připravená procesní kapalina se poté přelila do sběrné vany chladicího okruhu CNC soustruhu CHEVALIER. Odtud byla při procesu obrábění čerpána chladicím systémem stroje a dopravována potrubím do místa řezu.

Aby nedošlo k znečištění a vzájemnému ovlivnění procesních kapalin, byl před jejich výměnou chladicí okruh důkladně vyčištěn a vypláchnut čistou vodou. Použité kapaliny byly uskladněny v plastových kanystrech a připraveny pro případné další použití nebo ekologickou likvidaci.

3.4.2 Postup měření trvanlivosti

Volba řezných podmínek

Při stanovování řezných podmínek pro měření trvanlivosti bylo cílem najít takové řezné podmínky, které umožní objektivní posouzení vlivu procesních kapalin na trvanlivost nástroje. To znamená, že nebylo žádoucí, aby parametry řezných podmínek byly příliš vysoké, což by způsobilo příliš nízkou trvanlivost nástroje a zkreslení výsledků analýzy. Zároveň však bylo třeba řezné podmínky zvolit tak, aby trvanlivost nástroje nebyla příliš vysoká, což by mělo za následek zbytečně velkou spotřebu materiálu a časovou náročnost zkoušky.

Hodnota posuvu byla stanovena $f = 0,1$ mm/ot. a hloubka záběru $a = 0,5$ mm. Pro stanovení optimální hodnoty řezné rychlosti pro zkoušku bylo provedeno několik měření opotřebení nástroje při soustružení konstrukční oceli zvoleným nástrojem při různých řezných rychlostech. Podle toho byla zvolena pro zkoušku trvanlivosti nástroje řezná rychlost $v = 245$ m/min.

Díky tomu, že použitý CNC soustruh umožňuje plynulou změnu otáček vřetena, bylo možné zachovat konstantní řeznou rychlost během měření i při zmenšujícím se průměru polotovaru vlivem úběru materiálu.

Pro experiment byly zvoleny řezné podmínky:

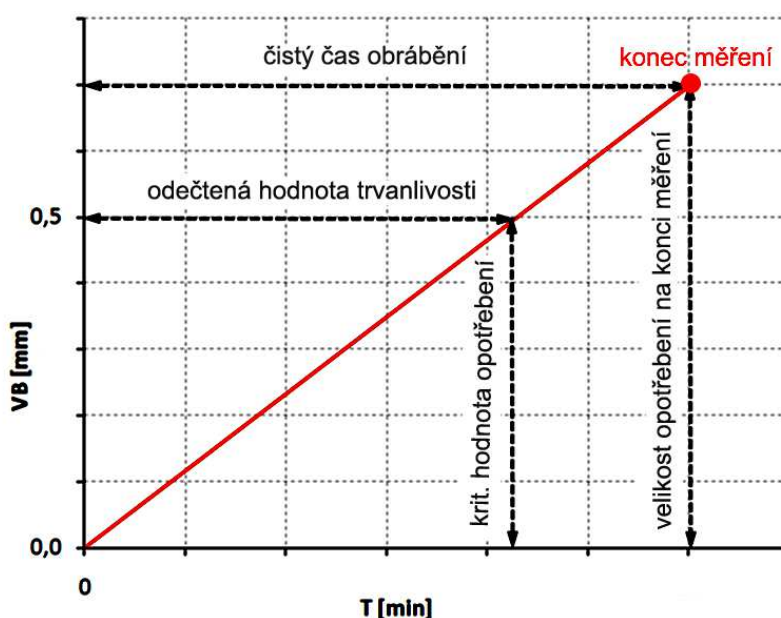
- Řezná rychlost (v) 245 [m/min]
- Posuv (f) 0,1 [mm/ot]
- Hloubka záběru (a) 0,5 [mm]

Metodika měření trvanlivosti nástroje

Způsob měření trvanlivosti řezného nástroje byl navržen tak, že se měřil čistý čas, kdy byl nástroj v řezu až do doby dosažení mezní velikosti opotřebení. Pro náš

experiment s použitou vyměnitelnou břitovou destičkou, vyrobenou z nepovlakovaného SK, jsme stanovili mezní velikost opotřebení $VB = 0,5\text{mm}$.

Použitý CNC program byl navržen tak, že po jeho spuštění byl proveden úběr materiálu vždy jen v délce 68 milimetrů, poté nástroj vyjel z řezu, zastavilo se vřeteno a chladio a stroj čekal na další povel pro spuštění pro provedení dalšího úběru materiálu. Při obrobení celé délky obrobku nástroj po vyjetí z řezu najel na začátek obrobku a bylo provedeno přepsání parametru v programu pro další úběr třísky na menším průměru. Během každého zastavení bylo možno bezpečně vyjmout VBD z tělesa soustružnického nože a provést měření jejího opotřebení. Díky tomu bylo možné poměrně přesně stanovit dobu, při které opotřebení nástroje dosáhne mezní hodnoty. V případě překročení mezní hodnoty opotřebení $VB = 0,5\text{ mm}$ byla výsledná trvanlivost pro tuto stanovenou velikost opotřebení určena pomocí grafu závislosti opotřebení břitu na čase, za zjednodušeného předpokladu, že průběh opotřebení je lineární (viz obr. 30). Do tohoto grafu byly zaneseny všechny naměřené hodnoty opotřebení a s příslušnou dobou opotřebení a poté byla odečtena hodnota trvanlivosti pro hodnotu opotřebení $VB = 0,5\text{ mm}$.



Obr. 30 - Zjednodušený průběh opotřebení nástroje v závislosti na čase pro zjištění trvanlivosti nástroje

Velikost opotřebení byla měřena pomocí nástrojové lupy Brinell (viz obr 26). Před vlastním měřením bylo vždy nutné řeznou destičku řádně očistit a případně odstranit nárůstky, které by zkreslily výsledek měření. Po očištění se břitová destička vložila do lupy a okulárem se zaostřilo na hřbet nástroje pro odečtení hodnoty velikosti opotřebení VB. Velikost opotřebení se odečetla pomocí stupnice vyobrazené v okuláru a při dosažení mezní hodnoty $VB = 0,5\text{mm}$ byla vypočtena trvanlivost nástroje a zanesena do tabulek. Z výsledků byly dále zpracovány grafy.

Pro tento experiment bylo použito celkem 7 různých procesních kapalin, přičemž pro každou kapalinu, bylo provedeno 5 měření. Každé měření bylo provedeno s novým břitem.

3.5 Metodika zkoumání drsnosti povrchu při soustružení konstrukční oceli na univerzálním soustruhu SU-50

Součástí této bakalářské práce bylo navržení metodiky měření vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli. V této kapitole je popsána příprava, postup měření a způsob získávání sledovaných dat.

Použité zařízení, přístroje a nástroje

- Univerzální soustruh SU-50
- Soustružnický nůž CTAPR 2020 K16
- Vyměnitelná břitová destička z nepovlakovaného SK TPUN 160304 S26
- Ruční refraktometr Brix 0-18% ATC
- Drsnoměr Mitutoyo SV-2000
- Stolní počítač s programem Surfpak v1.1

3.5.1 Příprava měření

Pro zkoumání vlivu procesních kapalin na drsnost povrchu při soustružení byl technických a manipulačních důvodů zvolen menší polotovar než pro měření trvanlivosti nástrojů. Polotovar byl vybrán ze skladových zásob Technické univerzity. Materiálem toho polotovaru byla konstrukční ocel ČSN 14340. Zvolený polotovar byl upnut do sklíčidla a opěrného otočného hrotu na univerzálním soustruhu SU-50.

Aby byl zajištěn spolehlivý přísun procesní kapaliny do místa řezu při obrábění při malé spotřebě procesních kapalin, bylo na suport soustruhu SU-50 připevněno speciální chladicí zařízení s nádobkou na zhruba 2l kapaliny, pracující na principu samospádu.

Pro tento experiment byla stanovena řezná rychlost na hodnotu $v = 100 \text{ m/min}$, aby se eliminovalo opotřebení břitů nástroje během měření, které by zkreslovalo výsledky. Ostatní řezné parametry byly stejné jako u zkoušky trvanlivosti.

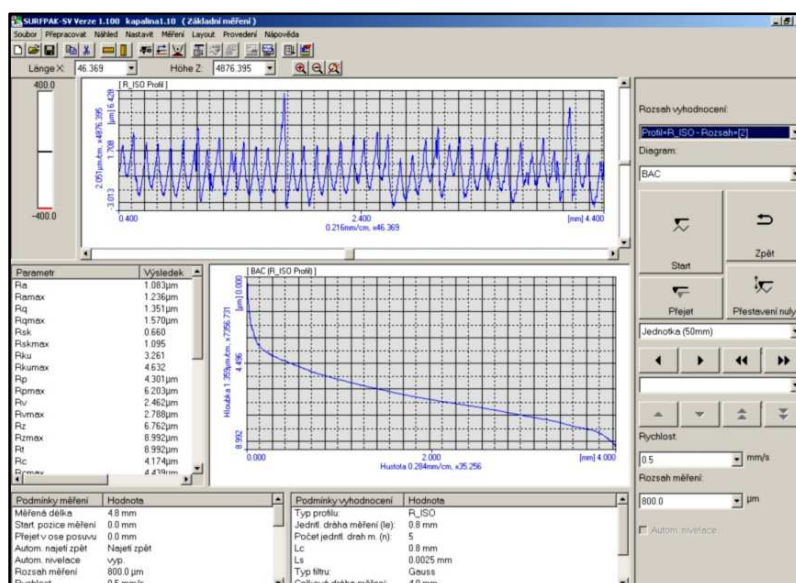
- Posuv (f) 0,1 [mm/ot]
- Hloubka záběru (a) 0,5 [mm]
- Řezná rychlost (v) 100 [m/min]

Měření drsnosti povrchu na vzorcích bylo provedeno v laboratořích KOM FS TUL na přístroji Mitutoyo SV-2000 (viz obr. 28). Drsnost byla měřena ve směru kolmém na hlavní řezný pohyb při obrábění (viz obr. 31).



Obr. 31 - Základní snímač drsnoměru Mitutoyo SV-2000 v pracovní poloze při měření drsnosti vzorku

Naměřené hodnoty byly zpracovány a zaznamenávány pomocí softwaru Surfpack na připojeném stolním počítači (viz obr. 32). Pro každý vzorek povrchu obrobený při působení určité procesní kapaliny bylo provedeno 10 měření, pro zajištění statistické přesnosti výsledku. Pro účely hodnocení drsnosti povrchu byly použity normované parametry střední aritmetické úchylky povrchu R_a , nejvyšší výšky profilu R_z a dále nenormovaný parametr C_{TP50} , který udává hloubku profilu, ve které je materiálový podíl 1:1 (50% kovového materiálu a 50% vzduchu). Naměřené hodnoty byly dále zpracovány, zapsány do tabulek a použity pro tvorbu grafů.

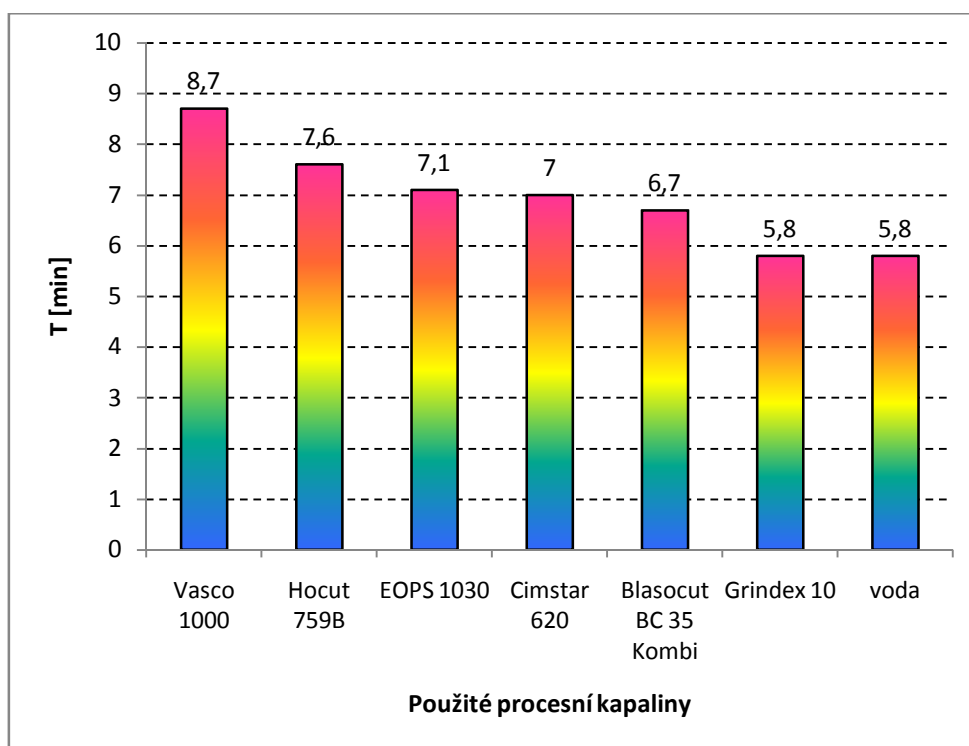


Obr. 32 - Ukázka pracovního prostředí softwaru Surfpack v1.1

4 ZJIŠTĚNÍ VLIVU JEDNOTLIVÝCH PROCESNÍCH KAPALIN OD NEJLEPŠÍCH SVĚTOVÝCH VÝROBCŮ NA TRVANLIVOST A DRSNOST POVRCHU V LABORATOŘI KOM FS TUL

4.1 Porovnání jednotlivých procesních kapalin z hlediska vlivu na trvanlivost nástroje při soustružení

V první části práce byl zjišťován vliv procesních kapalin na trvanlivost nástroje. Měření bylo prováděno při řezné rychlosti $v = 245 \text{ m/min}$. Pro každou procesní kapalinu bylo provedeno 5 měření trvanlivosti a byla vypočítána její průměrná hodnota. Úkolem bylo vyhodnocení účinnosti procesních kapalin na trvanlivost nástroje v porovnání s použitím chlazení vodou.



Graf 1 - Průměrná hodnota trvanlivost břitové destičky TPUN 160304 S26 (z pěti měření) při soustružení konstrukční oceli 14220 řeznou rychlostí $v = 245 \text{ m/min}$ za použití různých procesních kapalin

| Procesní kapalina | T [min] | zvýšení T [%] |
|----------------------|---------|---------------|
| voda | 5.8 | - |
| Grindex 10 | 5.8 | 0 |
| Blasocut BC 35 Kombi | 6.7 | 16 |
| Cimstar 620 | 7 | 21 |
| EOPS 1030 | 7.1 | 22 |
| Hocut 795B | 7.6 | 31 |
| Vasco 1000 | 8.7 | 50 |

Tab. 1 - Zvýšení trvanlivosti nástroje u jednotlivých procesních kapalin při soustružení konstrukční oceli 14220 v porovnání s chlazením vodou

Z výsledků měření je patrné, že při zvolených řezných podmínkách se prakticky u všech procesních kapalin zvýšila trvanlivost nástroje ve srovnání s chlazením vodou. U nejlepší kapaliny Vasco 1000 to bylo dokonce o 50%. To by v praxi znamenalo znatelnou úsporu na nákladech na nákup břitových destiček, snížení prostojů z důvodu jejich výměny a zpřesnění výroby, protože nástroje by déle držely v nastavených hodnotách. Kapalina Grindex 10 nevykázala při měření žádné zlepšení trvanlivosti ve srovnání s vodou. Toto lze přisuzovat tomu, že tato kapalina je primárně určena pro broušení.

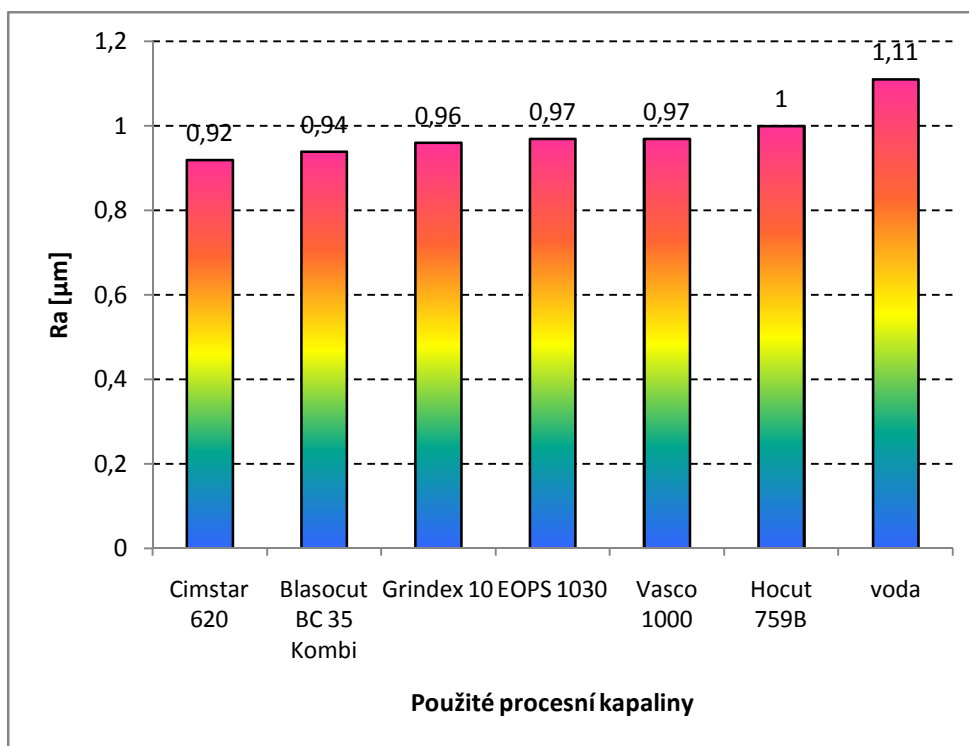
Závěr:

Při porovnání vlivu různých prostředí na průměrnou trvanlivost nástroje při soustružení konstrukční oceli 14220 vyplývá, že při použití procesních kapalin Grindex 10, Blasocut BC 35 Kombi, Cimstar 620 a EOPS 1030 se zvýšila trvanlivost do 22%. U kapaliny Hocut 759B nastalo zlepšení o 31% a nejlepšího výsledku dosáhla kapalina Vasco 1000, u které nastalo zlepšení o 50% oproti použití vody.

4.2 Porovnání jednotlivých procesních kapalin z hlediska jejich vlivu na drsnost povrchu při soustružení

V této části práce byl porovnáván vliv jednotlivých procesních kapalin na drsnost obrobeného povrchu. Drsnost povrchu byla hodnocena podle naměřených parametrů drsnosti povrchu R_a , R_z a C_{TP50} . Pro každou procesní kapalinu bylo provedeno 10 opakovaných měření drsnosti a výsledky byly statisticky zpracovány. Cílem bylo vyhodnotit vliv procesních kapalin na drsnost obrobeného povrchu a porovnání s chlazením vodou.

Hodnocení parametru drsnosti R_a



Graf 2 - Průměrná hodnota parametru drsnosti R_a při soustružení konstrukční oceli 14340 za použití různých procesních kapalin

| Procesní kapalina | Ra [μm] | zlepšení Ra [%] |
|----------------------|----------------------|-----------------|
| voda | 1.11 | - |
| Hocut 759B | 1 | 10 |
| Paramo EOPS 1030 | 0.97 | 13 |
| Vasco 1000 | 0.97 | 13 |
| Grindex 10 | 0.96 | 14 |
| Blasocut BC 35 Kombi | 0.94 | 15 |
| Cimstar 620 | 0.92 | 17 |

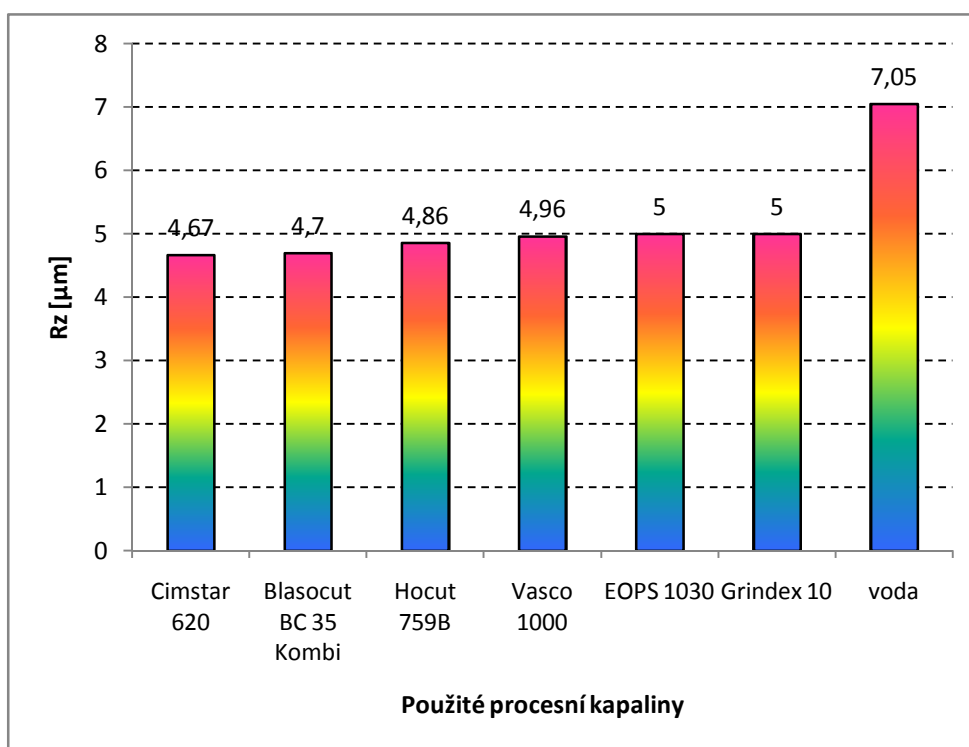
Tab. 2 - Zlepšení parametru Ra povrchu u jednotlivých procesních kapalin při soustružení konstrukční oceli 14340 v porovnání s chlazením vodou

Naměřené hodnoty ukazují, že mezi jednotlivými použitými procesními kapalinami je pouze minimální rozdíl v jejich vlivu na parametr drsnost povrchu Ra při soustružení (viz graf 2). Procentuální rozdíl mezi nejlepším a nejhorším procesním kapalinou je 7%. Oproti obrábění s přívodem čisté vody bylo však dosaženo i při srovnání s nejhorším procesním kapalinou zlepšení o 10%.

Závěr:

Při porovnání vlivu různých prostředí na průměrnou drsnost povrchu Ra při soustružení konstrukční oceli 14220 vyplývá, že při použití procesních kapalin v porovnání s vodou bylo u všech kapalin dosaženo zlepšení drsnosti povrchu. Při použití kapalin Hocut 759BE, EOPS 1030, Vasco 1000 a Grindex 10 bylo dosaženo zlepšení v rozsahu 10 až 14%. Kapalina Blasocut BC 35 Kombi zlepšila povrch o 15% a nejlépe dopadla kapalina Cimstar 620 se zlepšením 17%.

Hodnocení parametru drsnosti Rz



Graf 3 - Průměrná hodnota parametru drsnosti Rz při soustružení konstrukční oceli 14340 za použití různých procesních kapalin

| Procesní kapalina | Rz [μm] | zlepšení Rz [%] |
|----------------------|---------|-----------------|
| voda | 7.05 | - |
| EOPS 1030 | 5 | 29 |
| Grindex 10 | 5 | 29 |
| Vasco 1000 | 4.96 | 30 |
| Hocut 795B | 4.86 | 31 |
| Blasocut BC 35 Kombi | 4.7 | 33 |
| Cimstar 620 | 4.67 | 34 |

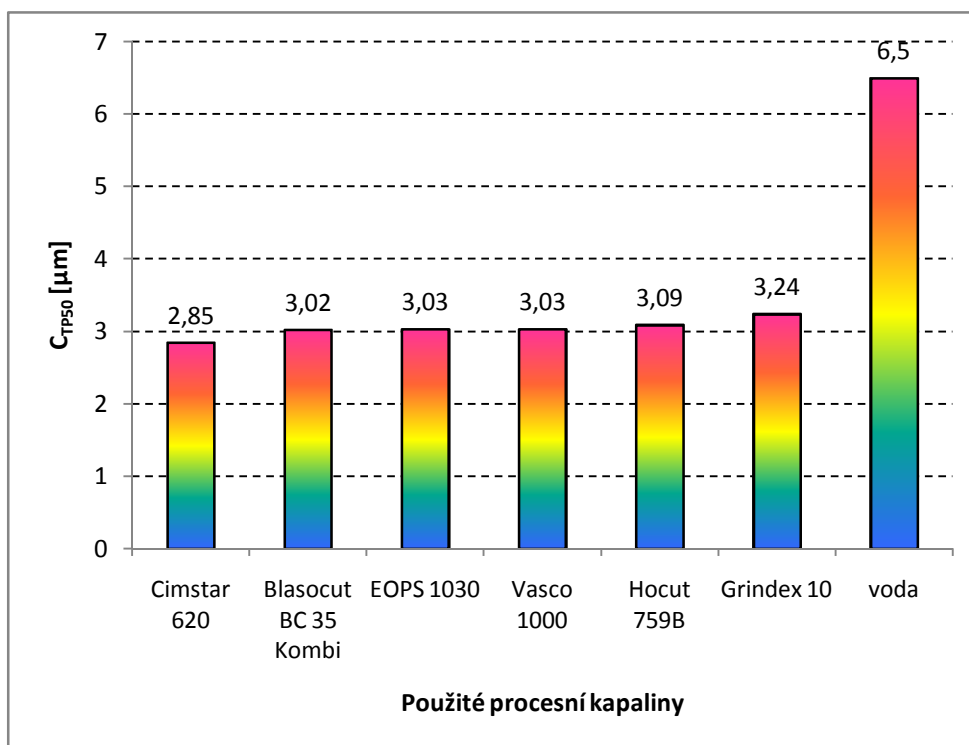
Tab. 3 Zlepšení parametru povrchu Rz u jednotlivých procesních kapalin při soustružení konstrukční oceli 14340 v porovnání s chlazením vodou

Naměřené hodnoty ukazují, že mezi jednotlivými použitými procesními kapalinami je pouze minimální rozdíl v jejich vlivu na parametr drsnost povrchu Rz při soustružení (viz graf 3). Procentuální rozdíl mezi nejlepší a nejhorší procesní kapalinou je 5%. Oproti obrábění s přívodem čisté vody bylo však dosaženo i při srovnání s nejhorší procesní kapalinou zlepšení o 29%.

Závěr:

Při porovnání vlivu různých prostředí na parametr drsnosti povrchu Rz bylo při použití procesních kapalin v porovnání s vodou dosaženo zlepšení o 29 až 31% s kapalinami Grindex 10, EOPS 1030, Vasco 1000 a Hocut 795B. Nejlepší kapaliny jsou Blasocut BC 35 Kombi se zlepšením o 33% a Cimstar 620 se zlepšením o 34%.

Hodnocení parametru drsnosti C_{TP50}



Graf 4 - Průměrná hodnota parametru nosného podílu C_{TP50} při soustružení konstrukční oceli 14340 za použití různých procesních kapalin

| Procesní kapalina | C_{TP50} [μm] | zlepšení C_{TP50} [%] |
|----------------------|------------------------------|-------------------------|
| voda | 6.5 | - |
| Grindex 10 | 3.24 | 50 |
| Hocut 795B | 3.09 | 52 |
| Vasco 1000 | 3.03 | 53 |
| EOPS 1030 | 3.03 | 53 |
| Blasocut BC 35 Kombi | 3.02 | 54 |
| Cimstar 620 | 2.85 | 56 |

Tab. 4 - Zlepšení parametru povrchu C_{TP50} u jednotlivých procesních kapalin při soustružení konstrukční oceli 14340 ve srovnání s vodou

Naměřené hodnoty ukazují, že mezi jednotlivými použitými procesními kapalinami je pouze minimální rozdíl v jejich vlivu na nosný podíl profilu povrchu C_{TP50} , při soustružení (viz graf 4). Procentuální rozdíl mezi nejlepší a nejhorší procesní kapalinou je 6%. Oproti obrábění s přívodem čisté vody bylo však dosaženo i při srovnání s nejhorší procesní kapalinou zlepšení nosného podílu o 56%.

Závěr:

Při porovnání vlivu různých prostředí na nosný podíl profilu povrchu C_{TP50} bylo při použití procesních kapalin v porovnání s vodou dosaženo zlepšení o 50 až 54% u kapalin Grindex 10, Hocut 759B, EOPS 1030, Vasco 1000 a Blasocut BC 35 Kombi. Nejlepšího výsledku dosáhl Cimstar 620 se zlepšením o 56%.

5 ANALÝZA LABORATORNÍCH VÝSLEDKŮ; VYVOZENÍ ZÁVĚRŮ

Zadáním této bakalářské práce bylo posouzení vlivu procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli. Byla prostudována problematika o opotřebení nástrojů, vlastnosti procesních kapalin a poznatky o integritě povrchu a způsobech měření drsnosti povrchu a měření opotřebení nástrojů. Dále byla navržena metodika pro zkoumání trvanlivosti nástroje a drsnosti povrchu při soustružení konstrukční oceli.

Bylo nutno připravit polotovary z konstrukční oceli, napsat program pro CNC soustruh a připravit procesní kapaliny. Teprve poté mohly začít vlastní zkoušky. Při hodnocení trvanlivosti nástroje bylo nutno zajistit objektivní posuzování opotřebení břitů vyměnitelných břitových destiček, a proto měření prováděla stále jedna osoba. Při měření obrobených povrchů probíhalo měření na měřicím přístroji napojeném na výpočetní techniku, proto byl vliv lidského faktoru omezen na minimum. Bylo však nutné správně zpracovat a vyhodnotit velké množství dat.

V první části práce jsme zkoumali vliv procesních kapalin na trvanlivost nástroje při soustružení. Úkolem bylo zjištění, o kolik se zlepší trvanlivost nástroje při použití jednotlivých procesních kapalin v porovnání s vodou.

- Při porovnání vlivu různých prostředí na průměrnou trvanlivost nástroje při soustružení konstrukční oceli 14220 vyplývá, že při použití procesních kapalin Grindex 10, Blasocut BC 35 Kombi, Cimstar 620 a EOPS 1030 se zvýšila trvanlivost do 22%. U kapaliny Hocut 759B nastalo zlepšení o 31% a nejlepšího výsledku dosáhla kapalina Vasco 1000, u které nastalo zlepšení o 50% oproti použití vody.

V druhé části práce jsme zjišťovali vliv procesních kapalin na drsnost povrchu při soustružení. Cílem bylo posoudit vliv jednotlivých kapalin na drsnost povrchu.

- Při porovnání vlivu různých prostředí na průměrnou drsnost povrchu Ra při soustružení konstrukční oceli 14220 vyplývá, že při použití procesních kapalin v porovnání s vodou bylo u všech kapalin dosaženo zlepšení

drsnosti povrchu. Při použití kapalin Hocut 759BE, EOPS 1030, Vasco 1000 a Grindex 10 bylo dosaženo zlepšení v rozsahu 10 až 14%. Kapalina Blasocut BC 35 Kombi zlepšila povrch o 15% a nejlépe dopadla kapalina Cimstar 620 se zlepšením 17% .

- Při porovnání vlivu různých prostředí na parametr drsnosti povrchu R_z bylo při použití procesních kapalin v porovnání s vodou dosaženo zlepšení o 29 až 31% s kapalinami Grindex 10, EOPS 1030, Vasco 1000 a Hocut 795B. Nejlepší kapaliny jsou Blasocut BC 35 Kombi se zlepšením o 33% a Cimstar 620 se zlepšením o 34%.
- Při porovnání vlivu různých prostředí na nosný podíl profilu povrchu C_{TP50} bylo při použití procesních kapalin v porovnání s vodou dosaženo zlepšení o 50 až 54% u kapalin Grindex 10, Hocut 759B, EOPS 1030, Vasco 1000 a Blasocut BC 35 Kombi. Nejlepšího výsledku dosáhl Cimstar 620 se zlepšením o 56%.
- Při posouzení všech třech parametrů kvality povrchu při soustružení, byla jako nejlepší vyhodnocena kapalina Cimstar 620, která byla nejlepší ve všech třech měřených parametrech drsnosti. Rozdíly mezi nejlepší a nejhorší kapalinou byly však poměrně malé, a nepřesáhly 10%. Vzhledem k malým rozdílům ve výsledcích lze považovat vliv jednotlivých kapalin za vyrovnaný. V porovnání s vodou však bylo dosaženo znatelného zlepšení.

Po zhodnocení všech výsledků měření při soustružení konstrukční oceli se ukázala jako nejkvalitnější kapalina Vasco 1000, protože byla výrazně nejlepší ve zkouškách vlivu na trvanlivost nástroje. Vzhledem k tomu lze tuto kapalinu doporučit do praxe.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MADL, J. Řezné kapaliny v současné technologii obrábění. In: *Sborník vědeckých prací*. 1. vyd. Ekologie obrábění, Strojírenská technologie knihovnička, 2000, s. 9 - 18. ISBN 80-7044-232-8.
- [2] JERSÁK, J., REJZEK, M. Účinek procesní kapaliny na proces soustružení a vybrané parametry integrity povrchu. *Strojírenská technologie*. Rec. prof. Vasilko, prof. Holešovský. roč. 16, duben 2011, č. 2. s. 17 - 23. ISSN 1211-4162.
- [3] KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1 vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
- [4] HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. *Terminologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTŘV, 2005. 208 s. ISBN 80- 7044-616-1.
- [5] ŘASA, J., GABRIEL, V. *Strojírenská technologie 3. Metody, stroje a nástroje pro obrábění*, 1. díl, 2. vyd. Praha : Scientia, 2005. ISBN 80-7183-337-1.
- [6] HLUCHÝ, M., KOLOUCH, J. *Strojírenská technologie 1. Nauka o materiálu*. 1. díl. 3. vyd. Praha : Scientia, 2002. ISBN 80-7183-262-6.
- [7] HLUCHÝ, M., HANĚK, V. *Strojírenská technologie 2. Koroze, základy obrábění, výrobní postupy*. 2. díl. Praha : Scientia, 1999. ISBN 80-7183-121-1.
- [8] ŘASA, J., HANĚK, V., KAFKA, J. *Strojírenská technologie 4. Návrhy nástrojů, přípravků a měřidel. Zásady montáže*, 1. vyd. Praha : Scientia, 2003. ISBN 80-7183-284-7.
- [9] AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Překlad M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o. 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [10] ZEMAN, P., Účinek řezného prostředí na trvanlivost břitů. *MM Průmyslové spektrum*, prosinec 2005, č. 12, str. 36. ISSN 1212-2572.
- [11] JERSÁK, J. *Technologie III – Obrábění. Základní pojmy, podstata technologie obrábění – přednáška č. 2*. Liberec: Technická univerzita v Liberci – Katedra obrábění a montáže.
- [12] DRÁB, V. *Technologie I*. Liberec : Vysoká škola strojní a textilní v Liberci, 1985, 295 s. ISBN-.
- [13] KŘÍŽ, P., Syntetické obráběcí kapaliny pro budoucnost. *MM Průmyslové spektrum*, červenec 2011, č. 7, str. 26. ISSN 1212-2572.

- [14] CEJNAROVÁ, A., Jak správně zvolit chlazení pro obráběcí stroj. *MM Průmyslové spektrum*, květen 205, č.5, str. 60. ISSN 1212-2572.
- [15] KŘÍŽ, R., VAVRA, P., *Strojírenská příručka – 7. Svazek*, 1.vyd. Praha : Scientia, 1996. ISBN 80-7183-024-0
- [16] STAVINOHA, Z ., Mechatronika - technologie – výukové materiály – trvanlivost bříty. Inovace oboru Mechatronik pro Zlínský kraj. Registrační číslo CZ.1.07/1.1.08/03.0009, Dostupné na: <http://coptel.coptkm.cz/reposit.php?action=0&id=32871&revision=-1&instance=2>
- [17] Pramet Tools, s.r.o., *Katalog obrábění – Soustružení 2012*. [online]. Šumperk [cit. 11.4.2013]. Ke stažení na: <http://www.pramet.com/download.php?id=80>
- [18] SANDVIK Coromant, *Technická příručka – 2010*. [online]. Sweden, 2009. Ke stažení na: http://www.rpb.cz/katalog_sandvik_coromant
- [19] DE VOS, P., Opotřebení se nevyhneme!. *MM Průmyslové spektrum*, červen 2012, č. 6, str. 56. ISSN 1212-2572.
- [20] *Zkoušky trvanlivosti ostří řezných nástrojů* [online] Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni. [cit. 12.4.2013]. Dostupné na: <http://www.ateam.zcu.cz/trvanlivost.html>
- [21] FOREJT, M., HUMÁR, A., PÍŠKA, M., JANÍČEK, L., *Experimentální metody, Syllabus pro magisterský studijní program 23-01-T Strojní inženýrství, obor strojírenská technologie – obrábění – tváření*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003. Dostupné na: http://www.ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/experimentalni_metody_cviceni_forejt_piska_humar_janicek.pdf
- [22] POPOV, A. *Teorie obrábění – Opotřebení a trvanlivost řezných nástrojů (2. část) – přednáška č. 12*. Liberec: Technická univerzita v Liberci – Katedra obrábění a montáže. Dostupné na: <http://www.techno-mat.cz/kom-to/>
- [23] KARÁSEK, J. *Metrologie a montáž – Geometrické vlastnosti povrchu – přednáška č. 10*. Liberec: Technická univerzita v Liberci – Katedra obrábění a montáže. Dostupné na: <http://www.techno-mat.cz/kom-to/>
- [24] BUMBÁLEK, B. *Integrita povrchu a její význam pro posouzení vhodnosti pro její funkci*. Brno : Vysoké učení technické v Brně. Dostupné na: http://gps.fme.vutbr.cz/STAH_INFO/2512_Bumbalek.pdf
- [25] KŘÍŽ, A., Vliv povrchu na užité vlastnosti výrobku. *MM Průmyslové spektrum*, červenec 2011, č. 7, str. 50. ISSN 1212-2572.
- [26] ŠŇUPÁREK, P., MAREK, M., *Technická dokumentace – Drsnost povrchu*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky elektrických strojů a přístrojů – KAT 453. Dostupné na: http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/td/01-textyVSB/005_Drsnost%20povrchu.pdf

- [27] KŘÍŽ, R., VAVRA, P., *Strojírenská příručka – 5. Svazek*, 1.vyd. Praha : Scientia, 1994. ISBN 80-85827-59-X
- [28] KREJČÍK, L., PSCHERA, J. Kapaliny pro obrábění. *MM Průmyslové spektrum*, červenec 2011, č. 7, str. 22. ISSN 1212-2572.
- [29] Förch, s.r.o., *Katalog – Vrtání, frézování, řezání závitů*. [online]. Praha [cit. 15.4.2013]. Dostupné na: <http://bk.foerch.com/cz/blaetterkatalog/pdf/complete.pdf>
- [30] Mitutoyo Česko, s.r.o., *Katalog Měřících přístrojů 2012/2013*. [online]. Teplice [cit. 15.4.2013]. Dostupné na: <http://bk.foerch.com/cz/blaetterkatalog/pdf/complete.pdf>
- [31] HOFMANN, P., Obrábění zasucha – ano, či ne?. *MM Průmyslové spektrum*, listopad 2001, č. 11, str. 58. ISSN 1212-2572.
- [32] Falcon Machine Tools CO., LTD., *Katalog – Multi-Function CNC Lathe FCL-18/21/25/26*. [online]. Taiwan [cit. 20.4.2013]. Dostupné na: <http://e-catalog.machinesources.com/e/falcon/c38/p9.html>
- [33] Paramo, a.s., *Katalog speciálních výrobků – obráběcí kapaliny, tepelné zpracování, konzervační prostředky*. [online]. Pardubice [cit. 21.4.2013]. Dostupné na: http://eshop.paramo.cz/data/Tiskoviny/Paramo_katalog_specialnich_vyrobk_u_N.pdf
- [34] Blaser Swissslube, AG, *Katalog- Water-Miscible Cutting Fluids*. [online]. Switzerland [cit. 28.4.2013]. Dostupné na: <http://www.aliyat.ae/pdf/blaser-swissslube/MF.pdf>
- [35] HOUGHTON CZ, s.r.o., *Produktový list- HOCUT 795B..* [online]. Brno [cit. 28.4.2013]. Dostupné na: http://www.ancfod.cz/images/houghton/HOCUT_795B-PDS-CZ.pdf
- [36] Cimcool Polska Sp, z o.o., *Produktový list- Cimstar 620*. [online]. Polsko [cit. 28.4.2013]. Dostupné na: http://industria.pl/karty_olejow/obrobkowe/pa_cimstar620_pl.pdf
- [37] KŘÍŽ, R., VAVRA, P., *Strojírenská příručka – 3. Svazek*, 1.vyd. Praha : Scientia, 1993. ISBN 80-85827-23-9
- [38] LEINVEBER, J., VAVRA, P., *Strojírenské tabulky*, 2.vyd. Úvaly : Albra, 2005. ISBN 80-7361-011-6

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 - Použitý CNC program pro soustruh Chevalier FCL-2140 při měření trvanlivosti nástroje

Příloha č. 2 - Měření trvanlivosti nástroje při soustružení - voda

Příloha č. 3 - Měření trvanlivosti nástroje při soustružení - Blasocut BC 35 Kombi

Příloha č. 4 - Měření trvanlivosti nástroje při soustružení - Hocut 795B

Příloha č. 5 - Měření trvanlivosti nástroje při soustružení - Cimstar 620

Příloha č. 6 - Měření trvanlivosti nástroje při soustružení - EOPS 1030

Příloha č. 7 - Měření trvanlivosti nástroje při soustružení - Grindex 10

Příloha č. 8 - Měření trvanlivosti nástroje při soustružení - Vasco 1000

Příloha č. 9 - Drsnost povrchu obrobku

Příloha č. 10 - Třísky při obrábění

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

Použitý CNC program pro soustruh CHEVALIER FCL-2140 při měření trvanlivosti nástroje:

```
(P1=1) ;POCET PRUCHODU
(P2=232.8-P1*1.0) ;VYCHOZI PRUMER BYL 232.8 mm
(P3=-476.4+0.4*P1) ;VYCHOZI DELKA BYLA -275.0 mm
(P4=P2+6.0) ;VYPOCET BEZPECNEHO PRUMERU PRO ODJETI
G71 G18 G90
G59
T4 D4
G95
G96 S245 ; M/MIN
G92 S1000
M3 M8
G0 X250. Z3. ;BEZPECNY BOD NAJETY K OBROBKU
G1 XP2 F0.8 ;NAJETI NA PRUMER DLE PARAMETRU P1
G1 ZP2 F1.0 ;VLASTNI OBRABENI
G1 XP4 ;VYJETI NA BEZPECNY PRUMER + ZAROVNANI
G0 X380.
M05 M9 M00
M3 M8
G0 XP4 Z-66.
G1 XP2
G1 Z-136.
G1 XP4 ;VYJETI NA BEZPECNY PRUMER + ZAROVNANI
G0 X380.
M05 M9 M00
M3 M8
G0 XP4 Z-134.
G1 XP2
G1 Z-204.
G1 XP4 ;VYJETI NA BEZPECNY PRUMER + ZAROVNANI
```

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

G1 X380.

M05 M9 M00

M3 M8

G0 XP4 Z-202

G1 Z-272.

G1 XP4 ;VYJETI NA BEZPECNY PRUMER + ZAROVNANI

G0 X380.

M05 M9 M00

M3 M8

G0 XP4 Z-270.

G1 XP2

G1 Z-340.

G1 XP4 ;VYJETI NA BEZPECNY PRUMER + ZAROVNANI

G0 X380.

M05 M9 M00

M3 M8

G0 XP4 Z-338.

G1 XP2

G1 Z-408.

G1 XP4 ;VYJETI NA BEZPECNY PRUMER + ZAROVNANI

G0 X380.

M05 M9 M00

M3 M8

G0 XP4 Z-406.

G1 XP2

G1 ZP3

G1 XP4 ;VYJETI NA BEZPECNY PRUMER + ZAROVNANI

G0 X380.

GO Z2.

M05 M9

M30

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje při soustružení

- procesní kapalina: voda

datum měření: 14.5.2013

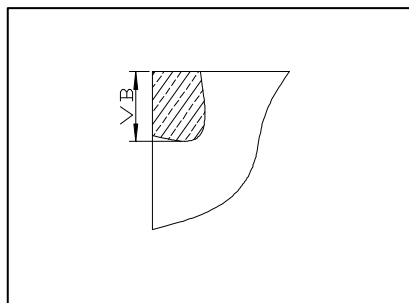
- obráběný materiál: 14 220

měření provedl: prof.
Popov,
Mlejnek

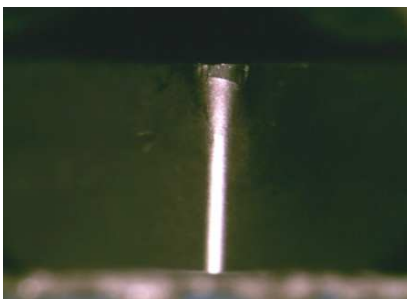
Podmínky měření

| | |
|--|--|
| stroj | Chevalier FCL-2140 |
| druh nože | CTAPR 2020 K16 Pramet Tools |
| druh a materiál VBD | VBD PRAMET TPUN 160304; S26 |
| řezné podmínky | $v_c=245$ m/min; $f_z=0,1$ mm/ot; $a_p=0,5$ mm |
| požadovaná koncentrace procesní kapaliny | - |
| koeficient refrakce | - |
| velkost na refraktometru | - |
| kriterium opotřebení VBD | 0,5 mm VB |

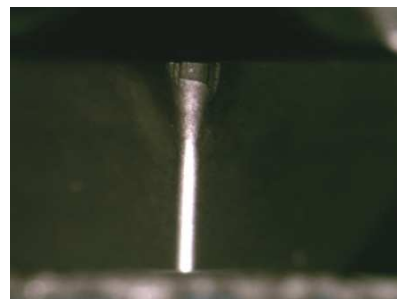
Schéma měření a fotografie opotřeбенé VBD



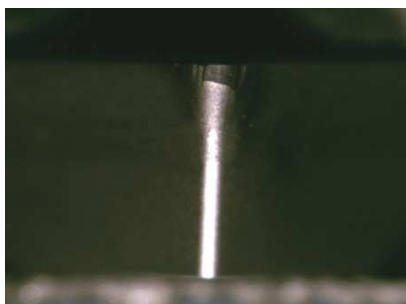
měření č.1



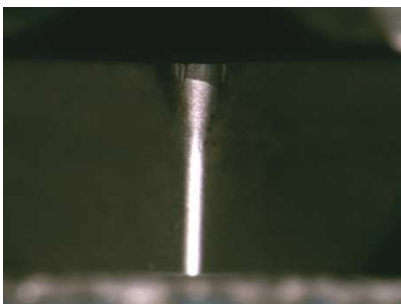
měření č.2



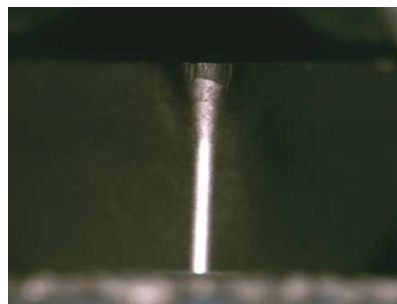
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - voda - tabulka

| měření č. 1 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 369 | 0 | 0 |
| 68 | 369 | 1.84 | 0.3 |
| 136 | 370 | 3.68 | 0.35 |
| 204 | 370 | 5.52 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 2 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 370 | 0 | 0 |
| 68 | 370 | 1.84 | |
| 136 | 370 | 3.68 | |
| | 370 | 5.01 | 0.5 |
| 204 | 370 | 5.51 | 0.55 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 3 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 370 | 0 | 0 |
| 68 | 370 | 1.84 | |
| 136 | 370 | 3.68 | |
| 204 | 373 | 5.50 | 0.4 |
| 272 | 373 | 7.32 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

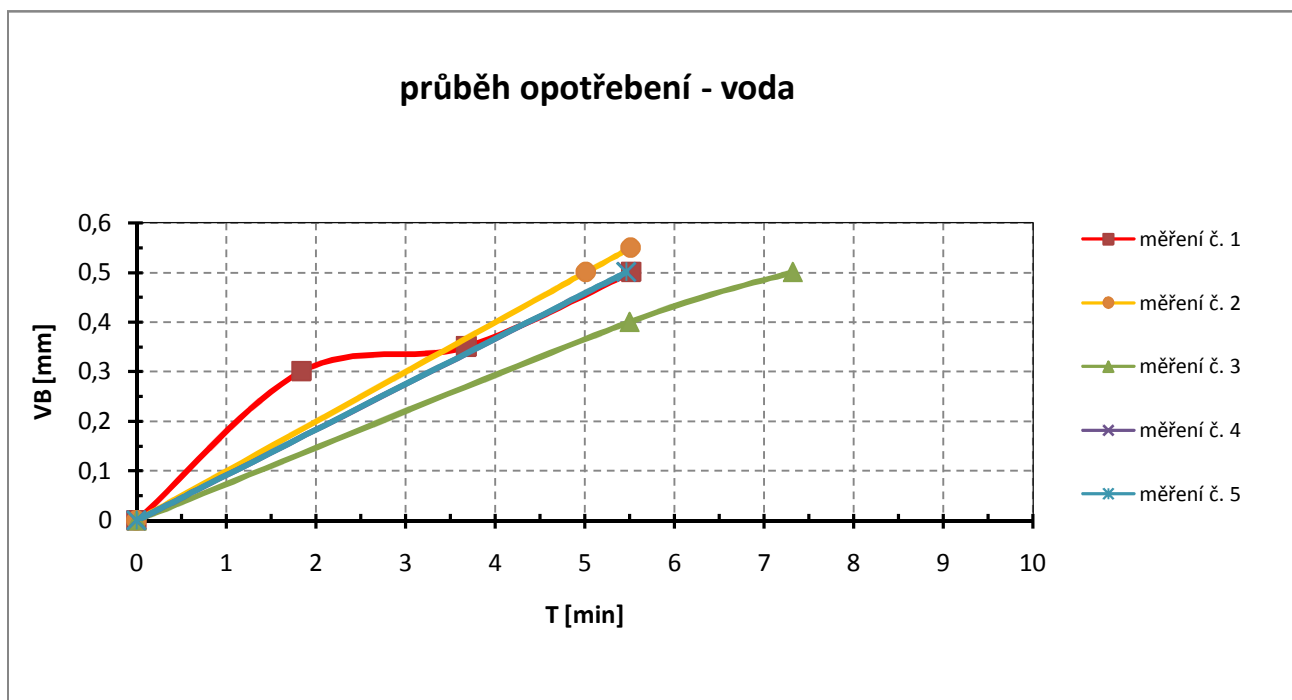
| měření č. 4 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 373 | 0 | 0 |
| 68 | 373 | 1.82 | |
| 136 | 373 | 3.65 | |
| 204 | 373 | 5.47 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 5 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 373 | 0 | 0 |
| 68 | 373 | 1.82 | |
| 136 | 373 | 3.65 | |
| 204 | 374 | 5.46 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

5.8 min

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje při soustružení

- procesní kapalina: Blasocut BC 35 Kombi

datum měření: 14.5.2013

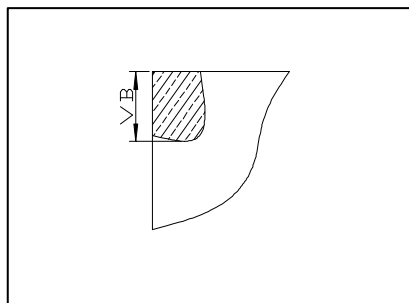
- obráběný materiál: 14 220

měření provedl: prof.
Popov,
Mlejnek

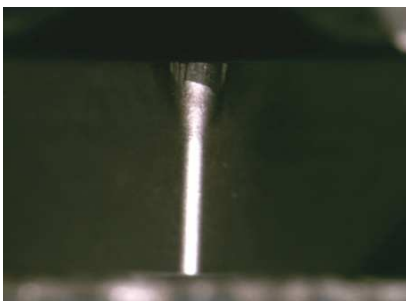
Podmínky měření

| | |
|--|--|
| stroj | Chevalier FCL-2140 |
| druh nože | CTAPR 2020 K16 Pramet Tools |
| druh a materiál VBD | VBD PRAMET TPUN 160304; S26 |
| řezné podmínky | $v_c=245$ m/min; $f_z=0,1$ mm/ot; $a_p=0,5$ mm |
| požadovaná koncentrace procesní kapaliny | 5% |
| koefficient refrakce | 1 |
| velkost na refraktometru | 5 |
| kriterium opotřebení VBD | 0,5 mm VB |

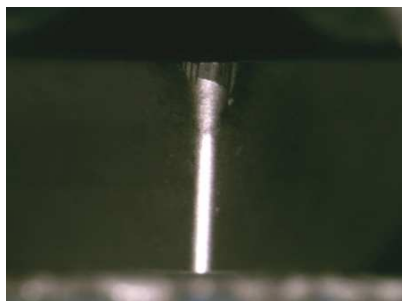
Schéma měření a fotografie opotřeбенé VBD



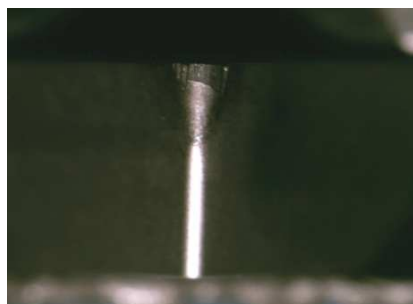
měření č.1



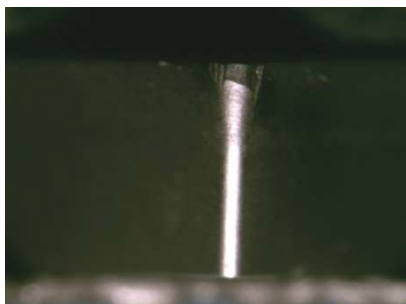
měření č.2



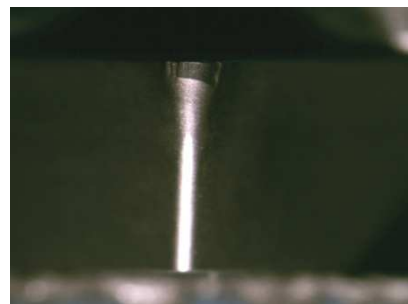
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - Blasocut BC 35 Kombi - tabulka

| měření č. 1 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 362 | 0 | 0 |
| 68 | 362 | 1.88 | |
| 136 | 362 | 3.76 | |
| 204 | 362 | 5.64 | |
| 272 | 362 | 7.51 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 2 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 362 | 0 | 0 |
| 68 | 363 | 1.87 | |
| 136 | 363 | 3.75 | |
| 204 | 363 | 5.62 | |
| 272 | 363 | 7.49 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 3 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 363 | 0 | 0 |
| 68 | 363 | 1.87 | |
| 136 | 363 | 3.75 | |
| 204 | 363 | 5.62 | |
| 272 | 363 | 7.49 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

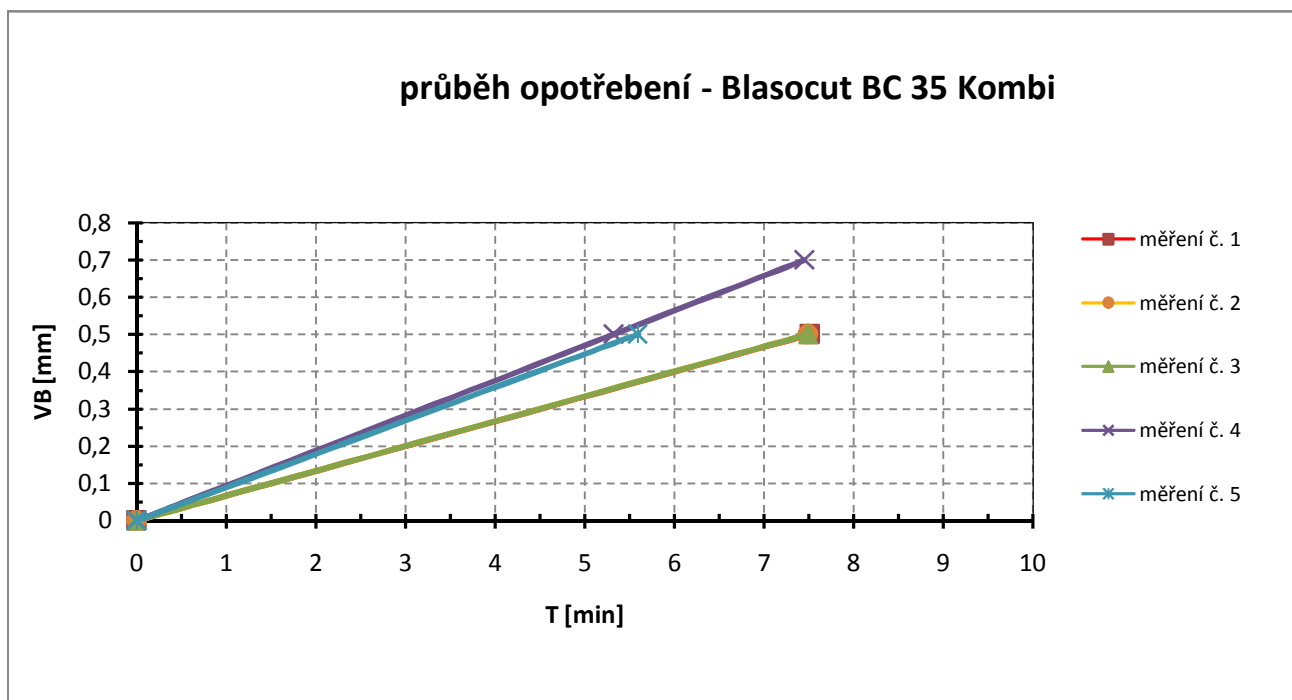
| měření č. 4 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 365 | 0 | 0 |
| 68 | 365 | 1.86 | |
| 136 | 365 | 3.73 | |
| 204 | 365 | 5.59 | |
| | 365 | 5.32 | 0.5 |
| 272 | 365 | 7.45 | 0.7 |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 5 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 365 | 0 | 0 |
| 68 | 365 | 1.86 | |
| 136 | 365 | 3.73 | |
| 204 | 365 | 5.59 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

6.7 min

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje při soustružení

- procesní kapalina: Hocut 795B

datum měření: 14.5.2013

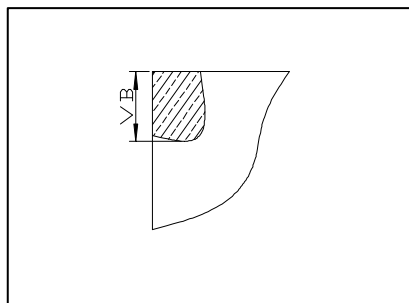
- obráběný materiál: 14 220

měření provedl: prof.
Popov,
Mlejnek

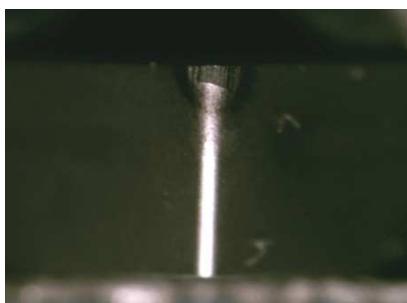
Podmínky měření

| | |
|--|--|
| stroj | Chevalier FCL-2140 |
| druh nože | CTAPR 2020 K16 Pramet Tools |
| druh a materiál VBD | VBD PRAMET TPUN 160304; S26 |
| řezné podmínky | $v_c=245$ m/min; $f_z=0,1$ mm/ot; $a_p=0,5$ mm |
| požadovaná koncentrace procesní kapaliny | 5% |
| koeficient refrakce | 1 |
| velkost na refraktometru | 5 |
| kriterium opotřebení VBD | 0,5 mm VB |

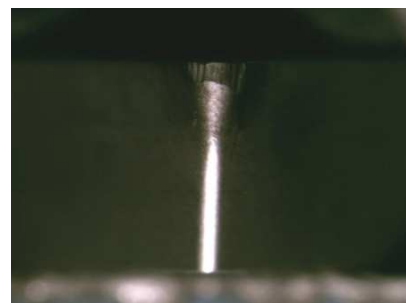
Schéma měření a fotografie opotřeбенé VBD



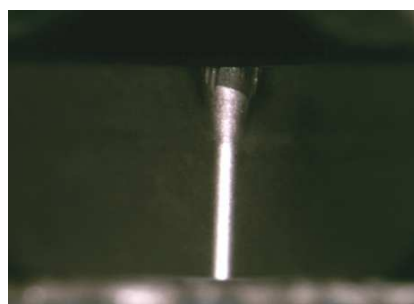
měření č.1



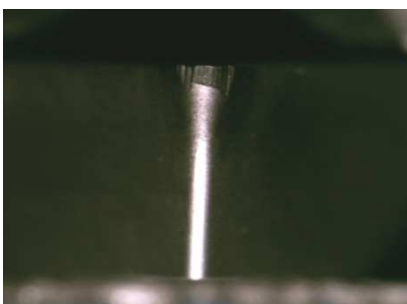
měření č.2



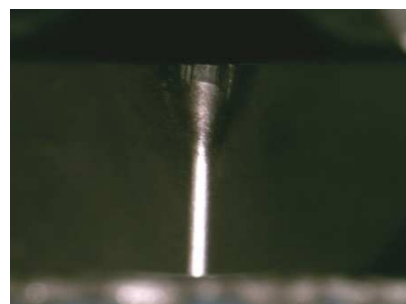
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - Hocut 795B - tabulka

| měření č. 1 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 354 | 0 | 0 |
| 68 | 354 | 1.92 | |
| 136 | 354 | 3.84 | 0.35 |
| 204 | 354 | 5.76 | 0.4 |
| 272 | 354 | 7.68 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 2 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 357 | 0 | 0 |
| 68 | 357 | 1.90 | 0.25 |
| 136 | 357 | 3.81 | |
| 204 | 357 | 5.71 | 0.4 |
| 272 | 357 | 7.62 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 3 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 357 | 0 | 0 |
| 68 | 357 | 1.90 | |
| 136 | 357 | 3.81 | |
| 204 | 357 | 5.71 | |
| 272 | 360 | 7.60 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

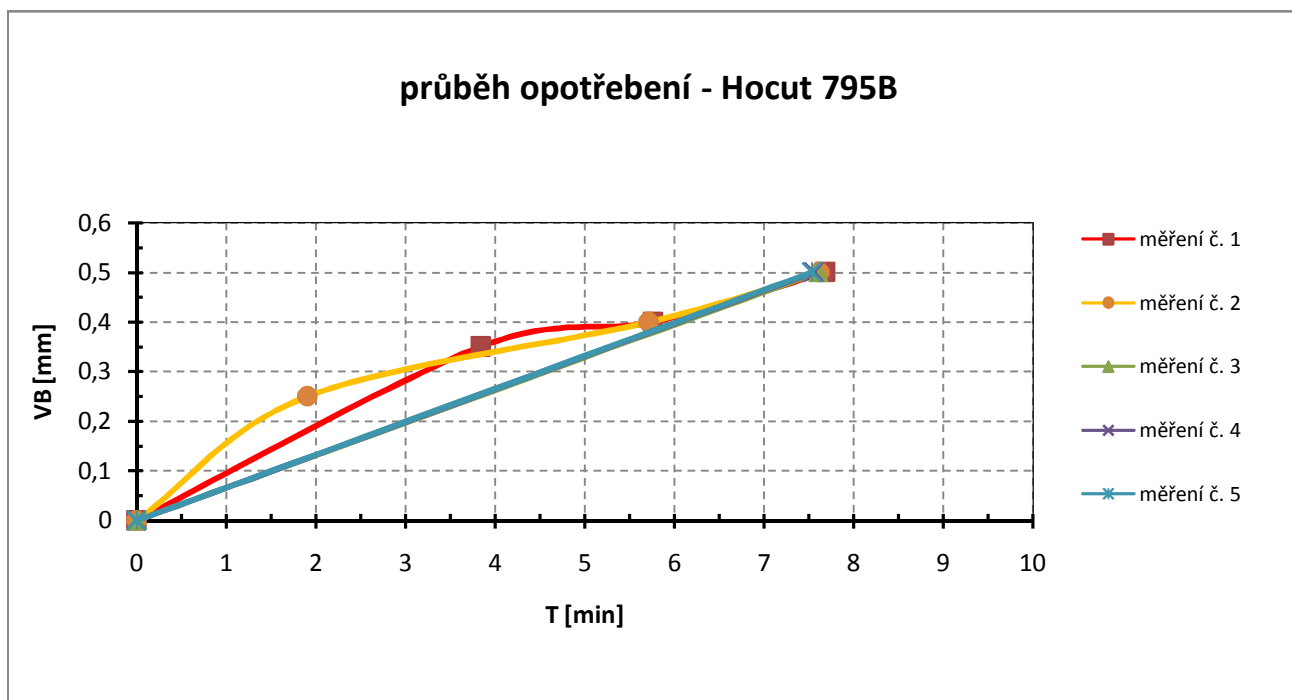
| měření č. 4 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 360 | 0 | 0 |
| 68 | 360 | 1.89 | |
| 136 | 360 | 3.78 | |
| 204 | 360 | 5.67 | |
| 272 | 360 | 7.56 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 5 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 360 | 0 | 0 |
| 68 | 360 | 1.89 | |
| 136 | 360 | 3.78 | |
| 204 | 362 | 5.66 | |
| 272 | 362 | 7.53 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

7.6 min

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje při soustružení

- procesní kapalina: Cimstar 620

datum měření: 14.5.2013

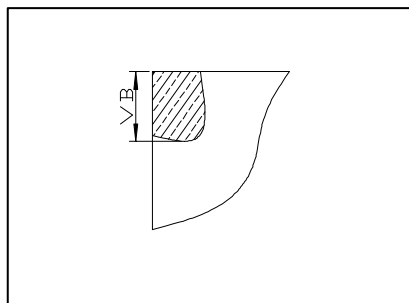
- obráběný materiál: 14 220

měření provedl: prof.
Popov,
Mlejnek

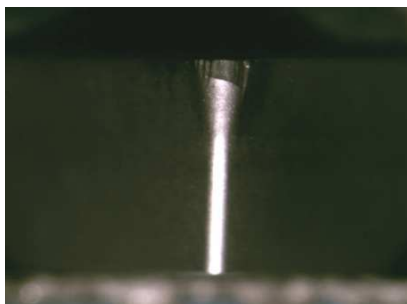
Podmínky měření

| | |
|--|--|
| stroj | Chevalier FCL-2140 |
| druh nože | CTAPR 2020 K16 Pramet Tools |
| druh a materiál VBD | VBD PRAMET TPUN 160304; S26 |
| řezné podmínky | $v_c=245$ m/min; $f_z=0,1$ mm/ot; $a_p=0,5$ mm |
| požadovaná koncentrace procesní kapaliny | 5% |
| koeficient refrakce | 1.4 |
| velkost na refraktometru | 3.57 |
| kriterium opotřebení VBD | 0,5 mm VB |

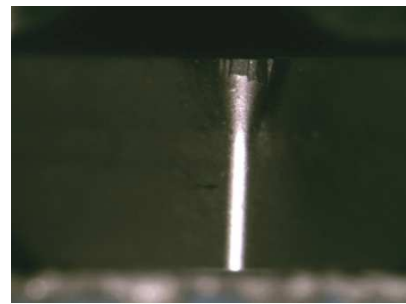
Schéma měření a fotografie opotřeбенé VBD



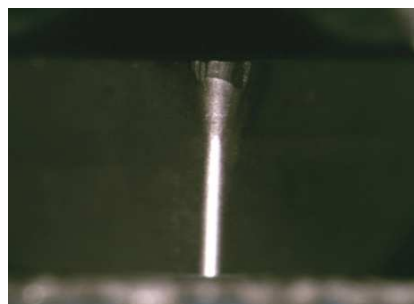
měření č.1



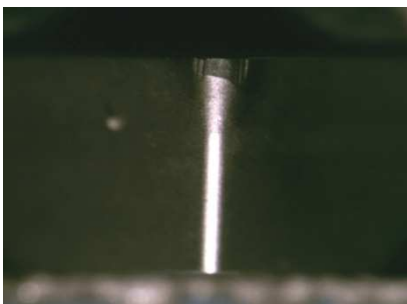
měření č.2



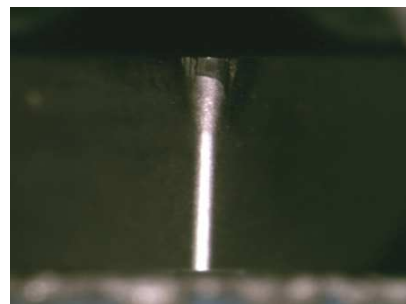
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - Cimstar 620 - tabulka

| měření č. 1 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 374 | 0 | 0 |
| 68 | 374 | 1.82 | |
| 136 | 374 | 3.64 | |
| 204 | 374 | 5.45 | |
| | 374 | 6.06 | 0.5 |
| 272 | 374 | 7.27 | 0.6 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 2 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 374 | 0 | 0 |
| 68 | 374 | 1.82 | |
| 136 | 374 | 3.64 | |
| 204 | 377 | 5.44 | |
| 272 | 377 | 7.24 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 3 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 377 | 0 | 0 |
| 68 | 377 | 1.80 | |
| 136 | 377 | 3.61 | |
| 204 | 377 | 5.41 | |
| 272 | 377 | 7.21 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

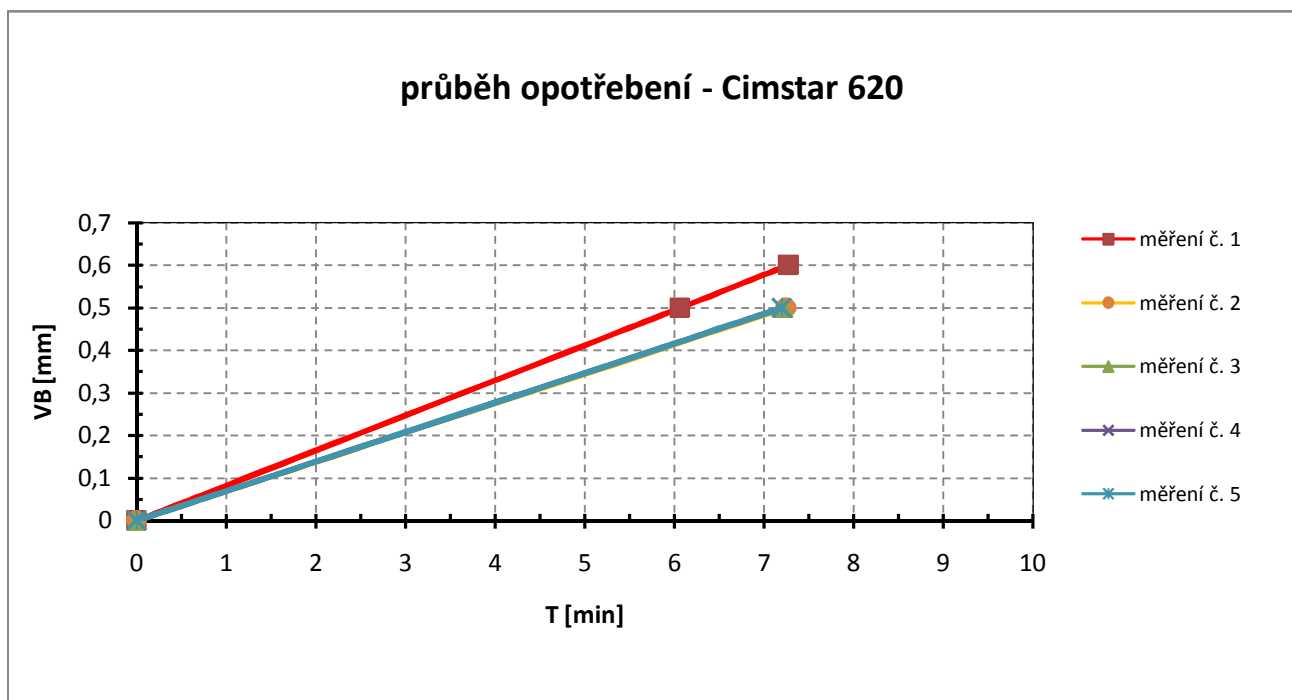
| měření č. 4 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 377 | 0 | 0 |
| 68 | 377 | 1.80 | |
| 136 | 378 | 3.60 | |
| 204 | 378 | 5.40 | |
| 272 | 378 | 7.20 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 5 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 377 | 0 | 0 |
| 68 | 377 | 1.80 | |
| 136 | 378 | 3.60 | |
| 204 | 378 | 5.40 | |
| 272 | 378 | 7.20 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

7.0 min

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje při soustružení

- procesní kapalina: EOPS 1030

datum měření: 14.5.2013

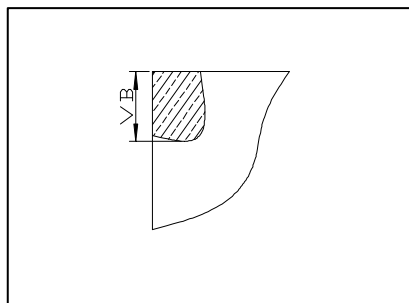
- obráběný materiál: 14 220

měření provedl: prof.
Popov,
Mlejnek

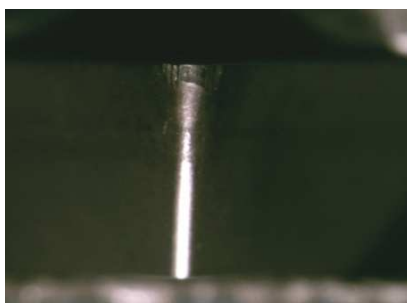
Podmínky měření

| | |
|--|--|
| stroj | Chevalier FCL-2140 |
| druh nože | CTAPR 2020 K16 Pramet Tools |
| druh a materiál VBD | VBD PRAMET TPUN 160304; S26 |
| řezné podmínky | $v_c=245$ m/min; $f_z=0,1$ mm/ot; $a_p=0,5$ mm |
| požadovaná koncentrace procesní kapaliny | 5% |
| koeficient refrakce | 1.1 |
| velkost na refraktometru | 4.55 |
| kriterium opotřebení VBD | 0,5 mm VB |

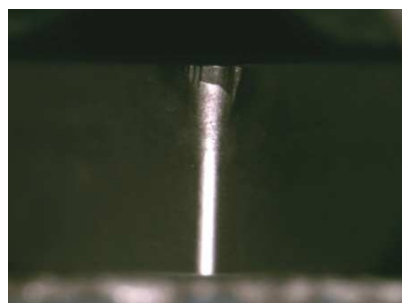
Schéma měření a fotografie opotřeбенé VBD



měření č.1



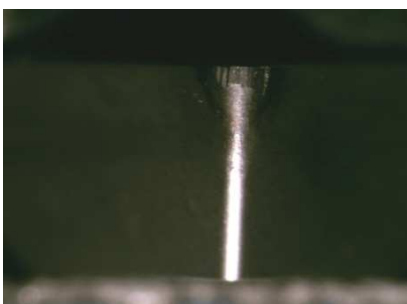
měření č.2



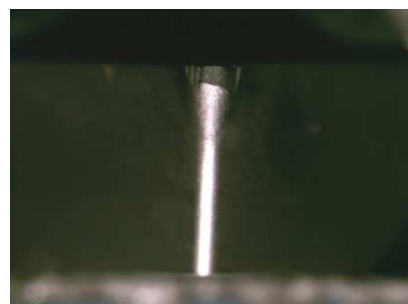
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - EOPS 1030 - tabulka

| měření č. 1 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 366 | 0 | 0 |
| 68 | 366 | 1.86 | |
| 136 | 366 | 3.72 | |
| 204 | 366 | 5.57 | 0.4 |
| 272 | 366 | 7.43 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 2 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 366 | 0 | 0 |
| 68 | 366 | 1.86 | |
| 136 | 366 | 3.72 | |
| 204 | 366 | 5.57 | |
| | 367 | 5.71 | 0.5 |
| 272 | 367 | 7.43 | 0.65 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 3 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 367 | 0 | 0 |
| 68 | 367 | 1.85 | |
| 136 | 367 | 3.71 | |
| 204 | 367 | 5.56 | |
| 272 | 367 | 7.41 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

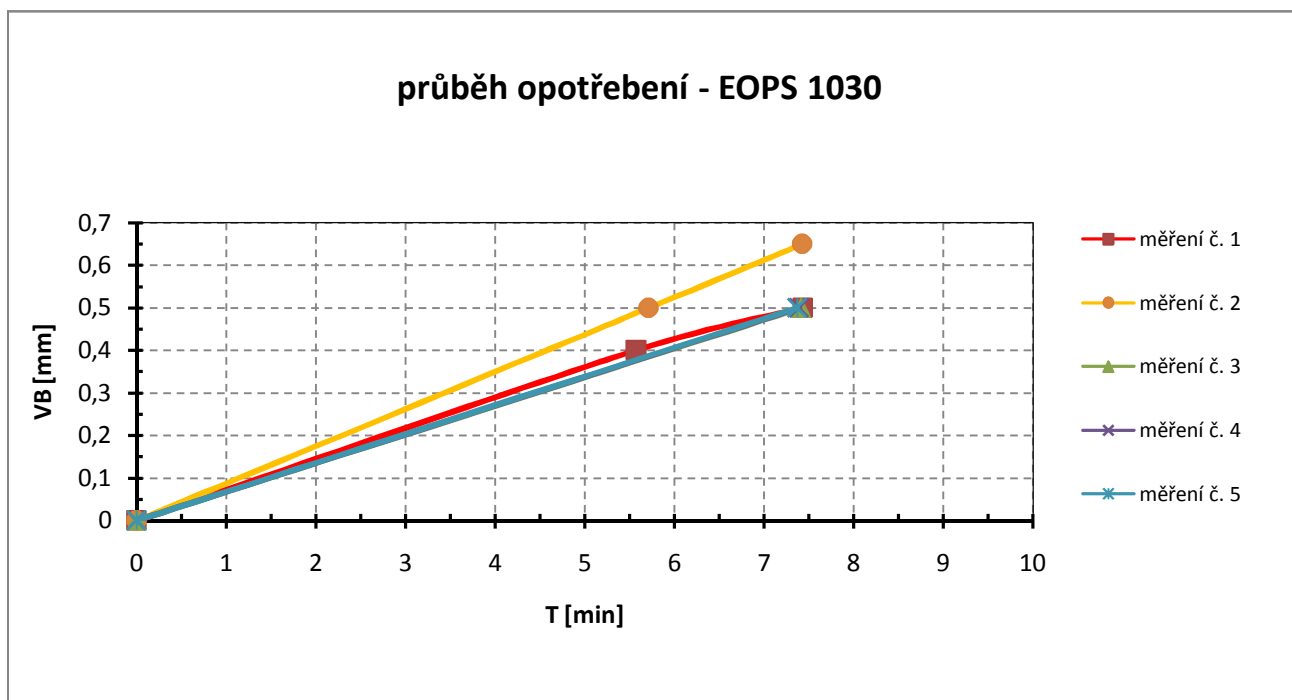
| měření č. 4 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 367 | 0 | 0 |
| 68 | 367 | 1.85 | |
| 136 | 367 | 3.71 | |
| 204 | 369 | 5.55 | |
| 272 | 369 | 7.39 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 5 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 369 | 0 | 0 |
| 68 | 369 | 1.84 | |
| 136 | 369 | 3.69 | |
| 204 | 369 | 5.53 | |
| 272 | 369 | 7.37 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

7.1 min

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje při soustružení

- procesní kapalina: Grindex 10

datum měření: 14.5.2013

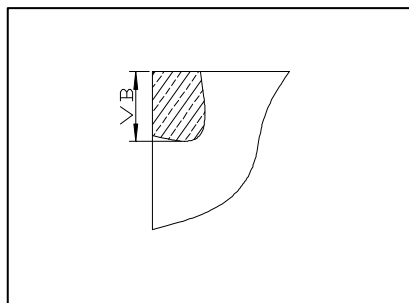
- obráběný materiál: 14 220

měření provedl: prof.
Popov,
Mlejnek

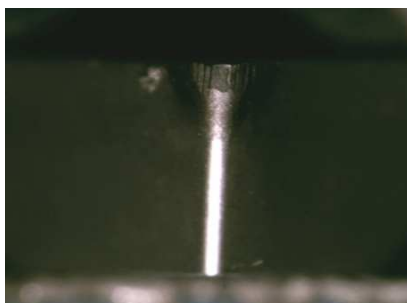
Podmínky měření

| | |
|--|--|
| stroj | Chevalier FCL-2140 |
| druh nože | CTAPR 2020 K16 Pramet Tools |
| druh a materiál VBD | VBD PRAMET TPUN 160304; S26 |
| řezné podmínky | $v_c=245$ m/min; $f_z=0,1$ mm/ot; $a_p=0,5$ mm |
| požadovaná koncentrace procesní kapaliny | 5% |
| koefficient refrakce | 1.6 |
| velkost na refraktometru | 3.13 |
| kriterium opotřebení VBD | 0,5 mm VB |

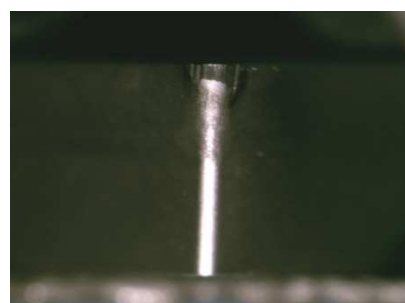
Schéma měření a fotografie opotřeбенé VBD



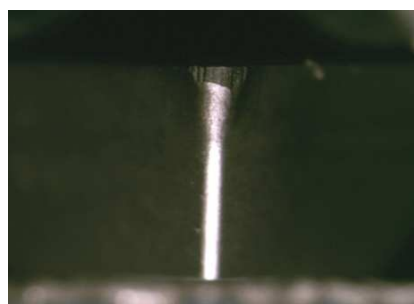
měření č.1



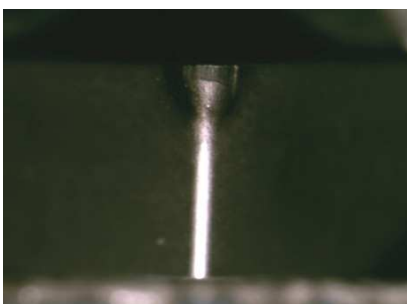
měření č.2



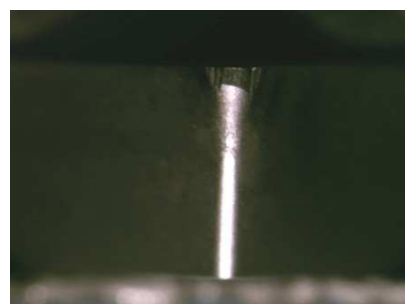
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - Grindex 10 - tabulka

| měření č. 1 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 350 | 0 | 0 |
| 68 | 350 | 1.94 | |
| 136 | 350 | 3.89 | 0.35 |
| 204 | 350 | 5.83 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 2 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 352 | 0 | 0 |
| 68 | 352 | 1.93 | |
| 136 | 352 | 3.86 | 0.4 |
| 204 | 353 | 5.79 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 3 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 353 | 0 | 0 |
| 68 | 353 | 1.93 | |
| 136 | 353 | 3.85 | 0.4 |
| 204 | 353 | 5.78 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

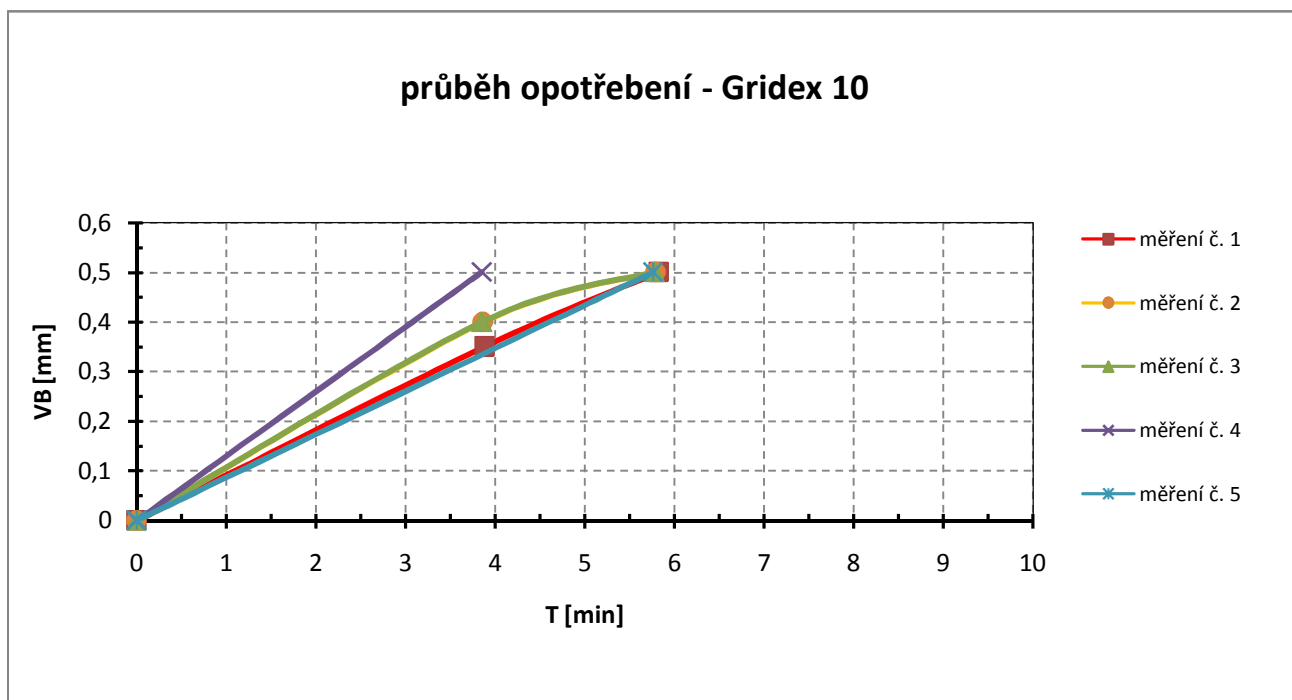
| měření č. 4 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 353 | 0 | 0 |
| 68 | 353 | 1.93 | |
| 136 | 353 | 3.85 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 5 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 354 | 0 | 0 |
| 68 | 354 | 1.92 | |
| 136 | 354 | 3.84 | |
| 204 | 354 | 5.76 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

5.8 min

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

Měření trvanlivosti nástroje při soustružení

- procesní kapalina: Vasco 1000

datum měření: 14.5.2013

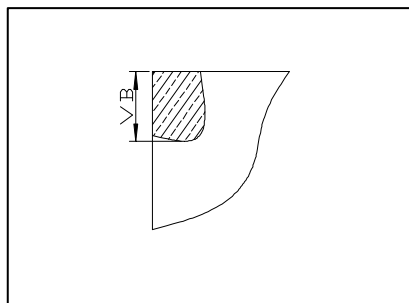
- obráběný materiál: 14 220

měření provedl: prof.
Popov,
Mlejnek

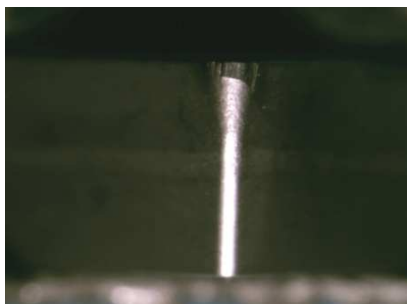
Podmínky měření

| | |
|--|--|
| stroj | Chevalier FCL-2140 |
| druh nože | CTAPR 2020 K16 Pramet Tools |
| druh a materiál VBD | VBD PRAMET TPUN 160304; S26 |
| řezné podmínky | $v_c=245$ m/min; $f_z=0,1$ mm/ot; $a_p=0,5$ mm |
| požadovaná koncentrace procesní kapaliny | 5% |
| koeficient refrakce | 1 |
| velkost na refraktometru | 5 |
| kriterium opotřebení VBD | 0,5 mm VB |

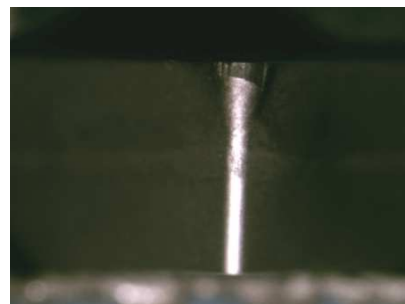
Schéma měření a fotografie opotřeбенé VBD



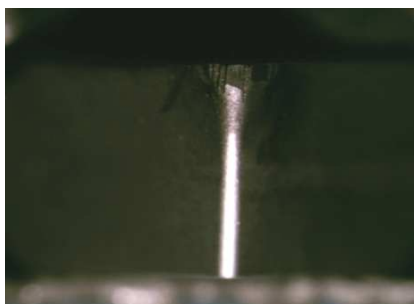
měření č.1



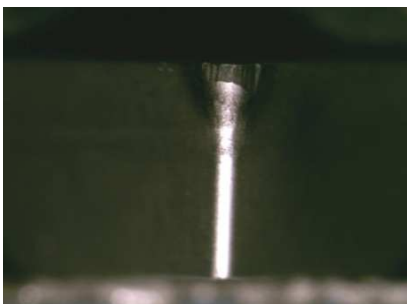
měření č.2



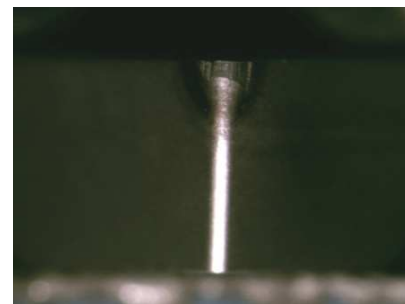
měření č.3



měření č.4



měření č.5



Naměřené hodnoty - Vasco 1000 - tabulka

| měření č. 1 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 340 | 0 | 0 |
| 68 | 340 | 2.00 | |
| 136 | 340 | 4.00 | |
| 204 | 340 | 6.00 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 2 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 341 | 0 | 0 |
| 68 | 341 | 1.99 | |
| 136 | 341 | 3.99 | |
| 204 | 341 | 5.98 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

| měření č. 3 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 342 | 0 | 0 |
| 68 | 342 | 1.99 | |
| 136 | 342 | 3.98 | |
| 204 | 342 | 5.96 | 0.3 |
| 272 | 343 | 7.95 | |
| 340 | 343 | 9.93 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

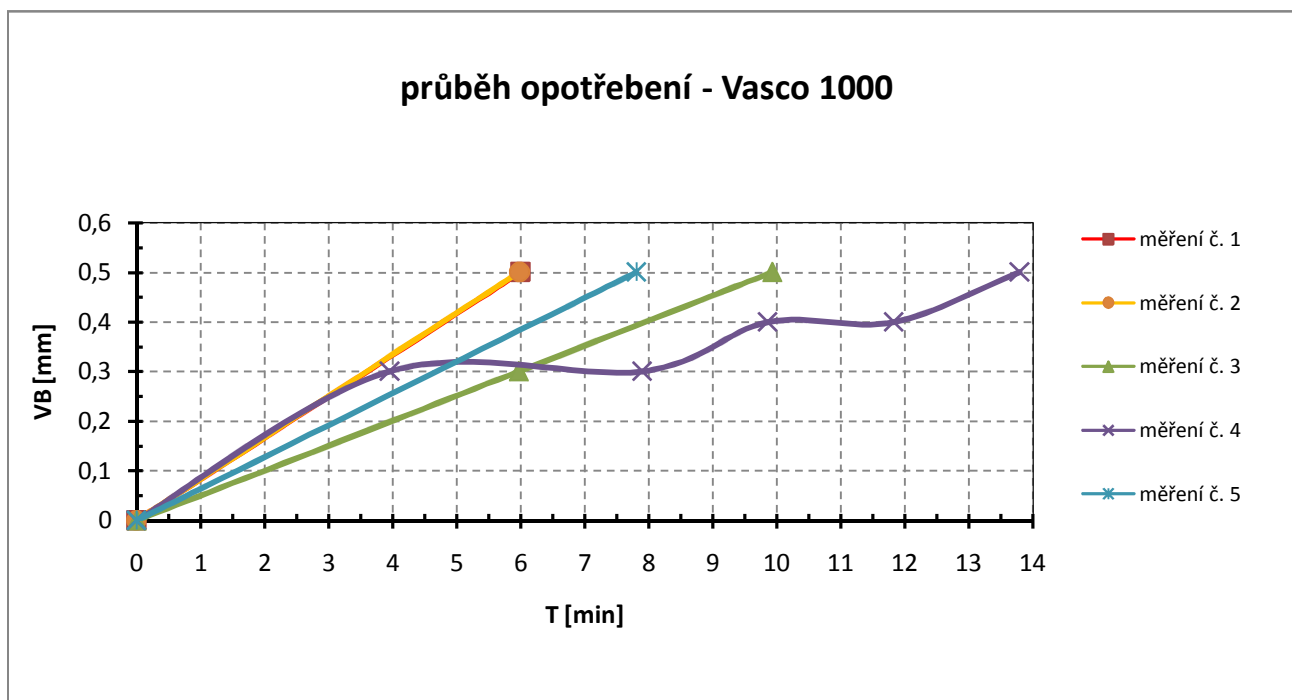
| měření č. 4 | | | |
|-------------|---------------|--------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 343 | 0 | 0 |
| 68 | 343 | 1.98 | |
| 136 | 345 | 3.95 | 0.3 |
| 204 | 345 | 5.92 | |
| 272 | 345 | 7.90 | 0.3 |
| 340 | 346 | 9.86 | 0.4 |
| 408 | 346 | 11.83 | 0.4 |
| 476 | 346 | 13.79 | 0.5 |

L - dráha posuvu

| měření č. 5 | | | |
|-------------|---------------|-------------|------------|
| L [mm] | n [ot/min] | T [min] | VB [mm] |
| 0 | 348 | 0 | 0 |
| 68 | 348 | 1.95 | |
| 136 | 348 | 3.91 | |
| 204 | 348 | 5.86 | |
| 272 | 350 | 7.80 | 0.5 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

L - dráha posuvu

Naměřené hodnoty - graf



Trvanlivost VBD

Střední trvanlivost

8.7 min

Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

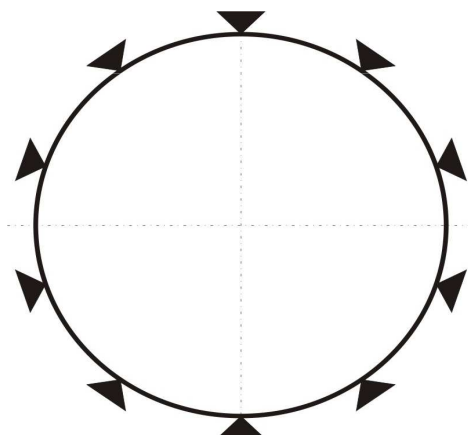
Drsnost povrchu obrobku

- obráběný materiál: 14 340
- procesní kapalina:
1. voda
 2. Blasocut BC 35 Kombi
 3. Hocut 795B
 4. Cimstar 620
 5. Paramo EOPS 1030
 6. Grindex 10
 7. Vasco 1000

datum měření: 18.4.2013

měření provedl: Mlejnek

Místa měření



- schématické znázornění měřených míst

Fotografie vzorku



- označení jednotlivých obrobených ploch podle použité procesní kapaliny

Podmínky měření

Měření bylo provedeno dotykovou metodou pomocí přístroje Mitutoyo Surftest SV-2000.

Použité příslušenství: dotek č. 12AAB403 - standardní dotek (rádius 5 μ m, vrcholový úhel 90°)

Naměřené a vypočítané hodnoty parametrů drsnosti povrchu - tabulka

| Procesní kap. 1: voda | Číslo měření | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | průměr | (+,-) |
| Ra [μm] | 1.088 | 1.092 | 1.144 | 1.076 | 1.153 | 1.106 | 1.077 | 1.140 | 1.112 | 1.152 | 1.11 | 0.02 |
| Rz [μm] | 6.305 | 6.916 | 6.992 | 6.406 | 7.396 | 7.944 | 7.256 | 7.229 | 6.905 | 7.121 | 7.05 | 0.36 |
| C _{TP50} [μm] | 3.411 | 6.169 | 7.036 | 6.772 | 4.978 | 6.817 | 8.918 | 7.184 | 7.134 | 6.564 | 6.50 | 1.10 |

| Procesní kap. 2: Blasocut BC 35 Kombi | Číslo měření | | | | | | | | | | | |
|--|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | průměr | (+,-) |
| Ra [μm] | 0.944 | 0.955 | 0.933 | 0.923 | 0.922 | 0.936 | 0.950 | 0.932 | 0.962 | 0.946 | 0.94 | 0.01 |
| Rz [μm] | 5.009 | 4.599 | 4.594 | 4.546 | 4.577 | 4.522 | 4.762 | 4.830 | 4.938 | 4.649 | 4.70 | 0.13 |
| C _{TP50} [μm] | 3.195 | 2.957 | 3.133 | 3.158 | 3.175 | 2.897 | 2.879 | 3.015 | 2.859 | 2.919 | 3.02 | 0.10 |

| Procesní kap. 3: Hocut 795B | Číslo měření | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | průměr | (+,-) |
| Ra [μm] | 0.993 | 1.016 | 1.004 | 1.015 | 0.991 | 0.996 | 1.001 | 1.010 | 1.001 | 0.995 | 1.00 | 2.28 |
| Rz [μm] | 4.884 | 4.875 | 4.950 | 4.940 | 4.663 | 4.734 | 4.804 | 4.995 | 4.878 | 4.837 | 4.86 | 0.01 |
| C _{TP50} [μm] | 2.974 | 2.994 | 3.037 | 3.256 | 3.082 | 3.011 | 3.070 | 3.246 | 3.149 | 3.052 | 3.09 | 0.08 |

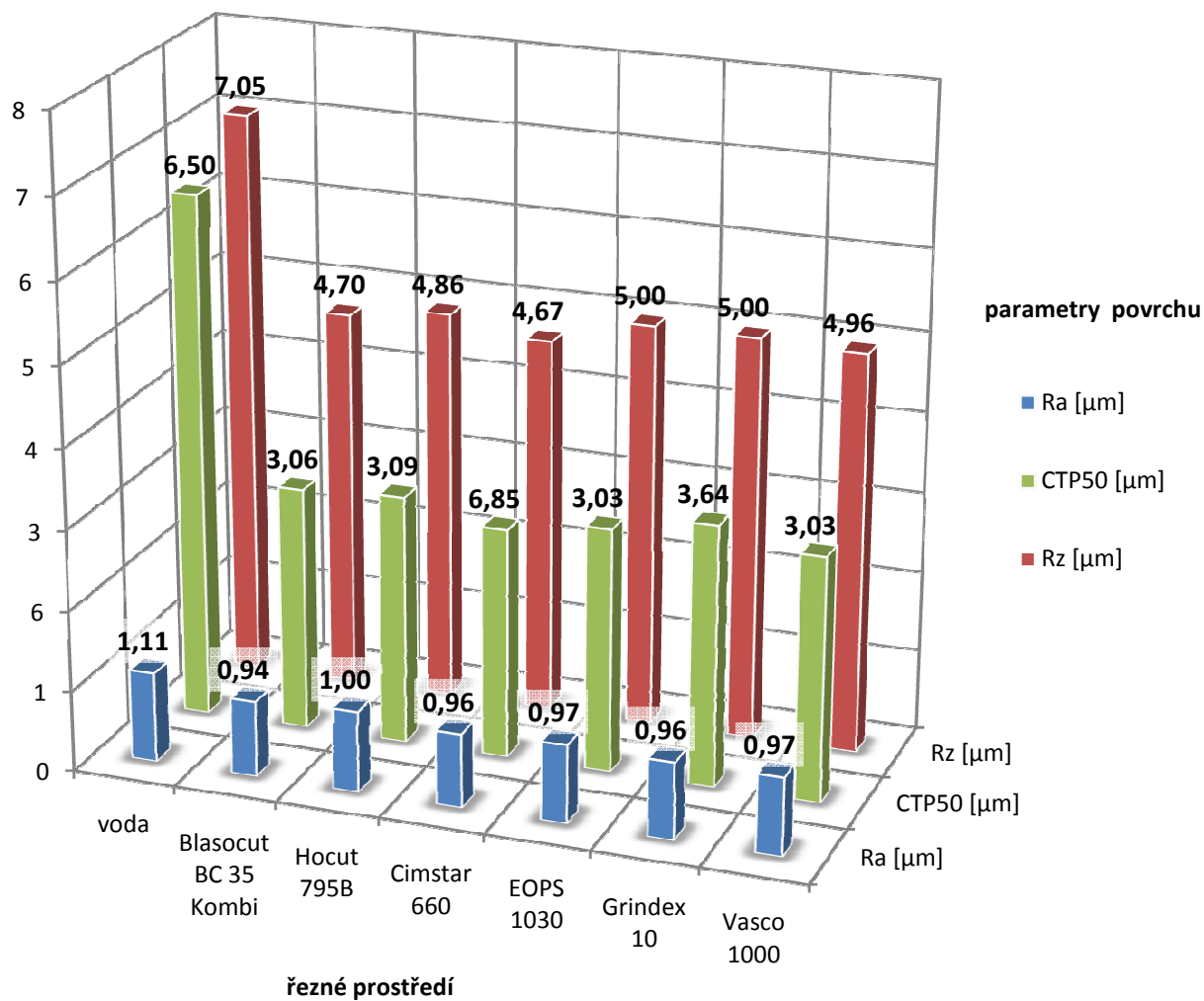
| Procesní kap. 4: Cimstar 620 | Číslo měření | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | průměr | (+,-) |
| Ra [μm] | 0.919 | 0.934 | 0.931 | 0.910 | 0.913 | 0.921 | 0.901 | 0.915 | 0.907 | 0.905 | 0.92 | 0.01 |
| Rz [μm] | 4.883 | 4.906 | 4.877 | 4.506 | 4.750 | 4.600 | 4.438 | 4.697 | 4.578 | 4.418 | 4.67 | 0.14 |
| C _{TP50} [μm] | 2.857 | 3.735 | 3.014 | 2.600 | 2.787 | 2.723 | 2.691 | 2.844 | 2.689 | 2.603 | 2.85 | 0.25 |

| Procesní kap. 5: EOPS 1030 | Číslo měření | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | průměr | (+,-) |
| Ra [μm] | 0.963 | 0.978 | 0.976 | 0.997 | 0.973 | 0.981 | 0.977 | 0.966 | 0.974 | 0.960 | 0.97 | 0.01 |
| Rz [μm] | 4.766 | 4.771 | 5.142 | 5.188 | 5.023 | 5.024 | 5.097 | 5.044 | 4.948 | 4.994 | 5.00 | 0.11 |
| C _{TP50} [μm] | 2.960 | 2.884 | 3.132 | 3.053 | 3.043 | 2.977 | 3.118 | 3.097 | 2.869 | 3.153 | 3.03 | 0.08 |

| Procesní kap. 6: Grindex 10 | Číslo měření | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | průměr | (+,-) |
| Ra [μm] | 0.967 | 0.953 | 0.941 | 0.982 | 0.971 | 0.959 | 0.941 | 0.963 | 0.963 | 0.953 | 0.96 | 0.01 |
| Rz [μm] | 4.996 | 4.835 | 5.150 | 5.221 | 5.239 | 4.879 | 4.897 | 4.800 | 4.975 | 4.996 | 5.00 | 0.12 |
| C _{TP50} [μm] | 3.804 | 3.033 | 2.895 | 3.467 | 3.230 | 3.169 | 3.061 | 3.071 | 3.382 | 3.321 | 3.24 | 0.20 |

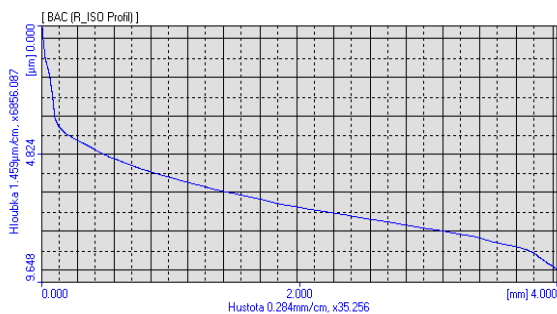
| Procesní kap. 7: Vasco 1000 | Číslo měření | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | průměr | (+,-) |
| Ra [μm] | 0.969 | 0.974 | 0.961 | 0.982 | 0.957 | 0.968 | 0.972 | 0.959 | 0.954 | 0.970 | 0.97 | 0.01 |
| Rz [μm] | 5.012 | 5.101 | 4.955 | 5.121 | 4.845 | 4.916 | 5.089 | 4.891 | 4.914 | 4.733 | 4.96 | 0.09 |
| C _{TP50} [μm] | 2.917 | 3.403 | 3.029 | 3.127 | 2.974 | 2.651 | 2.948 | 2.841 | 3.632 | 2.772 | 3.03 | 0.22 |

Naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu - graf

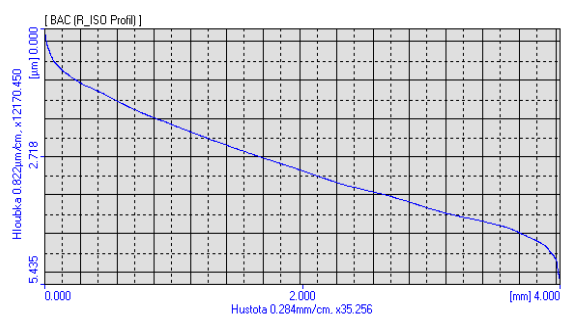


Křivky materiálového podílu

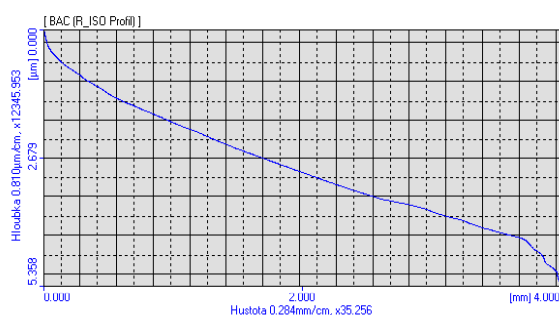
voda



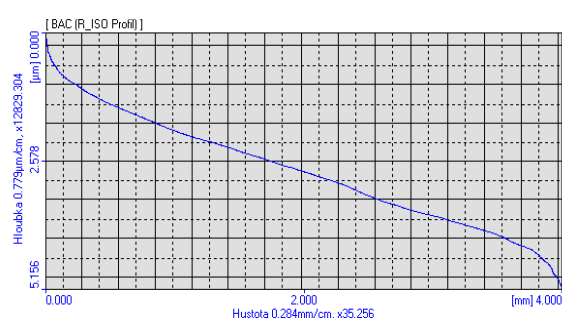
Blasocut BC 35 Kombi



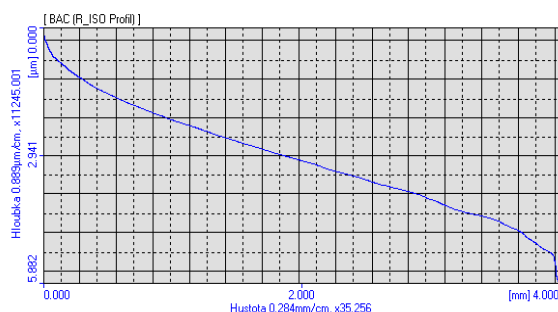
Hocut 795B



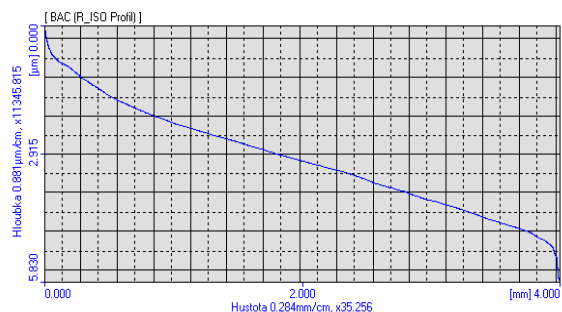
Cimstar 620



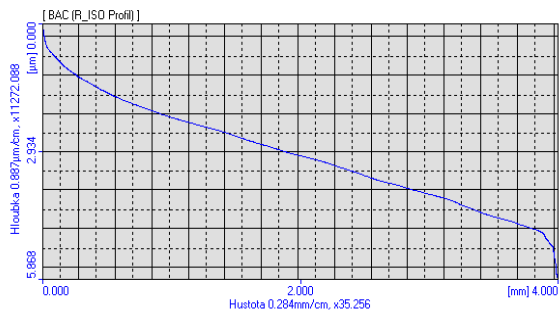
EOPS 1030



Grindex 10



Vasco 1000



Vliv procesních kapalin od nejlepších světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli

Třísky při obrábění

- obráběný materiál: 14220
- procesní kapalina:
1. voda
 2. Blasocut BC 35 Kombi
 3. Hocut 795-B
 4. Cimstar 620
 5. EOPS 1030
 6. Grindex 10
 7. Vasco 1000

datum měření: 14.5.2013

měření provedl: Mlejnek

Fotografie třísky při obrábění s přívodem vody



Fotografie třísky při obrábění s přívodem kapaliny Blasocut BC 35 Kombi



Fotografie třísky při obrábění s přívodem kapaliny Hocut 795B



Fotografie třísky při obrábění s přívodem kapaliny Cimstar 620



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem
kapaliny EOPS 1030**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem
kapaliny Grindex 10**



**Fotografie třísky při obrábění s přívodem
kapaliny Vasco 1000**



Podmínky měření

Vzorky třísek byly odebrány při prvním úběru materiálu novým břitem VBD. Fotografie třísek byly pořízeny přístrojem Panasonic Lumix FZ7.

Zjištěné údaje o druhu odebrané třísky - tabulka

| Soustružení | |
|----------------------|---------------------|
| Procesní kapalina | Tvar vzniklé třísky |
| Voda | Vinutá smotaná |
| Blasocut BC 35 Kombi | Vinutá smotaná |
| Hocut 795B | Vinutá smotaná |
| Cimstar 620 | Vinutá smotaná |

| Soustružení | |
|-------------------|---------------------|
| Procesní kapalina | Tvar vzniklé třísky |
| EOPS 1030 | Vinutá smotaná |
| Grindex 10 | Vinutá smotaná |
| Vasco 1000 | Vinutá smotaná |

| 1. Stužkové * | 2. Vinuté * | 3. Spirálové * | 4. Vlnité šroubovitě * | 5. Kuželovitě šroubovitě * | 6. Obloukovité ♦ | 7. Elementární | 8. Jehlovité |
|---------------|--------------|-----------------|------------------------|----------------------------|------------------|----------------|--------------|
| 1.1. Dlouhé | 2.1. Dlouhé | 3.1. Ploché | 4.1. Dlouhé | 5.1. Dlouhé | 6.1. Spojené | | |
| 1.2. Krátké | 2.2. Krátké | 3.2. Kuželovitě | 4.2. Krátké | 5.2. Krátké | 6.2. Dělené | | |
| 1.3. Smotané | 2.3. Smotané | | 4.3. Smotané | 5.3. Smotané | | | |